DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Dreizehnter Jahrgang | 16. Oktober 1925 | Heft 42

Die neuere Entwicklung der geometrischen Optik[1]).

Von Felix Jentzsch, Berlin.

Um die Entwicklungslinien der geometrischen Optik zu kennzeichnen und die Probleme zu schildern, die gegenwärtig eine Rolle darin spielen, muß zuerst klargestellt und umgrenzt werden, was eigentlich geometrische Optik heute bedeutet.

An sich ist die geometrische Optik so alt wie die Optik überhaupt, war sie doch die erste Form, in der optische Probleme überhaupt behandelt wurden.

Bei der heutigen Ausdehnung der Lehre vom Licht könnte man etwa das ganze Gebiet in drei Abteilungen zerlegen, nämlich die *Strahlungstheorie*, die die Entstehung und Vernichtung des Lichtes untersucht, die *geometrische Optik*, die sich mit denjenigen Gebieten befaßt, in denen das Licht als strahlenförmig aufgefaßt werden kann, und die *physikalische Optik*, die sich mit der Natur des Lichtes beschäftigt, wozu noch als Grenzgebiet die *physiologische Optik* treten würde, die das Auge und das Sehen behandelt.

Natürlich greifen diese Gebiete ineinander über. So wird man z. B. für die geometrische Optik die Gesetze der Lichtausbreitung und Beleuchtung, sowie die zugehörigen Meßmethoden in Anspruch nehmen müssen, die teilweise auch die ersten Kapitel jeder Strahlungstheorie zu bilden pflegen.

Die beliebte Gleichsetzung von geometrischer Optik und Theorie der optischen Instrumente ist aber durchaus nicht unbedingt zulässig. Insbesondere hat sich bekanntlich gezeigt, daß der Leistungsfähigkeit der optischen Instrumente eine Grenze gesetzt ist, durch die Wellenlänge des zur Anwendung kommenden Lichtes, so daß man hier in die physikalische Optik mit Beugung und Interferenzen kommt. Später fand man dann aber, daß nicht nur an der Grenze der Leistungsfähigkeit, sondern stets und überall die Beugungstheorie heranzuziehen ist, sobald man sich Rechenschaft über die Lichtverteilung in der Bildfläche ablegen will. Das gilt nicht nur bei der Abbildung von Kanten und inneren Grenzlinien aller Art, sondern auch von einzelnen Punkten einer homogen strahlenden Fläche.

Sodann ist man sich neuerdings deutlicher als früher bewußt geworden, daß die meisten optischen Instrumente dazu dienen, Bilder für das menschliche Auge zu entwerfen, daß man also die Dioptrik des Auges und die Gesetze des Sehens heranziehen muß. Insoweit es sich um die Lage der Pupillen und den Drehungspunkt des Auges handelt, wie bei der Brille, werden solche Fragen noch zur geometrischen Optik gehören, insoweit es sich aber um Fragen der Raumanschauung (Stereoskopie, binokulares Sehen) oder das Bewegungssehen (Kino) handelt, muß man sie zwar bei der Theorie der optischen Instrumente behandeln, zur geometrischen Optik gehören sie aber nicht.

Nach der Beugungstheorie gibt es keinen schroffen Sprung zwischen Hell und Dunkel, sondern man hat einen allmählichen Übergang, so daß die Frage auftritt, welche Stelle denn das Auge als Grenze bzw. Kontur auffaßt. Dazu muß man die altbekannte Kontrasttheorie des Sehens heranziehen, wie sie von Kühl neuerdings auf optische Instrumente angewandt wurde. Auch dies gehört nicht zur geometrischen Optik.

So sehen wir denn, daß die Theorie der optischen Instrumente überall umfassender ist und mehr an Hilfsmitteln erfordert, als die Geometrie zu leisten vermag. Indessen nimmt auch die so umgrenzte geometrische Optik immer noch den größten Teil von der Theorie der optischen Instrumente ein. Denn trotz aller Einschränkungen darf man die Strahlenoptik als Methode nicht unterschätzen. Die Fiktion von Strahlen, die ja in Wirklichkeit gar nicht realisierbar sind und die, wie ein Gespenst gerade in dem Augenblick sich auflösen, wo man sie zu fassen und zu isolieren glaubt, ist unendlich wertvoll. Die meisten unserer heutigen Kenntnisse auf dem Gebiet der optischen Abbildung wäre ohne diese Fiktion nicht zu erreichen gewesen. Nur muß man sich hüten, mehr von der Strahlenoptik zu erwarten, als eben eine Fiktion zu leisten vermag.

Endlich gelangt man noch zu einer *geometrischen Optik im engeren Sinne*, wenn man die Anwendung auf die einzelnen Instrumente, also die Theorie der Brille, der photographischen Objektive, der Lupe, des Mikroskops, der medizinischen Höhlen- und Röhrengucker, der Scheinwerfer und Bildwerfer, der Beleuchtungsvorrichtungen für alle diese Instrumente und endlich die Theorie des Fernrohrs in eine besondere „optische Instrumentenkunde" verweist und unter der Überschrift geometrische Optik nur die allgemeinen Gesetze der optischen Abbildung behandelt. Auch wird man die Ausmessung optischer Bilder als „Photogrammetrie" beiseite lassen. Ferner wird man die meteorologische oder atmosphärische Optik, wenn sie auch vielfach rein geometrische Gesetze benutzt, in einen besonderen Abschnitt verweisen müssen. Das gleiche würde gelten von allen Vorrichtungen und Methoden zur Unter-

[1]) Antrittsvorlesung an der Universität Berlin, gehalten am 27. Juni 1925.

suchung der optischen Eigenschaften der in den optischen Instrumenten angewandten Materialien, sowie von den Methoden zur Bestimmung der optischen Konstanten von Instrumenten und Prüfung ihrer Fehler.

Von dieser so umgrenzten *geometrischen Optik im engeren Sinne soll weiterhin ausschließlich die Rede sein.*

Verfolgung einzelner Strahlen mit Hilfe des Brechungs- und Reflexionsgesetzes.

Es gibt eine große Anzahl von Arten, die Probleme dieser *geometrischen Optik im engeren Sinne* zu behandeln. Wohl die älteste und jedenfalls die Methode, die die ersten größeren praktischen Erfolge erzielt hat, ist diejenige, die den Lauf eines einzelnen Lichtstrahls mit Hilfe der Brechungs- und Reflexionsgesetze durch alle Flächen eines Systems hindurch Schritt für Schritt verfolgt. Man beschränkte sich — entsprechend dem Stand der Technik — bis in die neueste Zeit ausschließlich auf Kugelflächen, wobei die Ebene natürlich als Spezialfall erscheint und, wenn man mehrere Kugelflächen hintereinander betrachtete, auf sog. zentrierte Systeme, d. h. solche, bei denen sämtliche Kugelmittelpunkte auf einer Geraden liegen. Die Betrachtung allgemeiner Rotationsflächen, sowie von asphärischen Flächen, die nicht mehr rotationssymmetrisch sind, ist erst in neuester Zeit wichtig geworden. Die Behandlung nichtzentrierter Systeme ist anscheinend bisher nur in der meteorologischen Optik, z. B. bei der Scintillation erforderlich, während sie in optischen Instrumenten außer bei der Betrachtung von Herstellungsfehlern bisher keine Rolle spielte, obgleich die Zeit nahe scheint, wo sie auch hierbei nötig sein wird. Einen Anfang kann man in der Verwendung von Prismen mit gekrümmten Grenzflächen in der Spektroskopie und vor allen bei den Brillen erblicken. Ferner treten auch beispielsweise bei Kinoapparaten mit optischem Ausgleich solche Fragen auf. Im allgemeinen wird man ferner noch voraussetzen müssen, daß der Brechungsindex zwischen zwei Grenzflächen konstant ist. Eine Ausnahme bildet die meteorologische Optik und die Dioptrik des menschlichen Auges, wo der Brechungsindex als kontinuierlich veränderlich angesehen werden kann.

Die nächstliegende Methode, den Lauf eines einzelnen Strahls in derart definierten Systemen zu verfolgen, ist die trigonometrische. Sie gehört für den Konstrukteur optischer Systeme zum täglichen Brot. Die Konstruktion solcher Systeme ist auch heute noch meist nichts anderes als ein rechnerisches Tatonnement. Nachdem man einen Bildstrahl bestimmt hat, der zu einem gegebenen Objektstrahl gehört, führt man dieselbe Rechnung für einen benachbarten Strahl durch, der entweder vom ersten Objektpunkt unter einer anderen Neigung oder von einem anderen Objektpunkt unter derselben Neigung ausgeht. Trifft er im zweiten Falle nicht an die gewünschte Stelle, so werden die Konstanten des optischen Systems, also die Krümmungsradien, die Dicken oder die Brechungsindices solange verändert, bis das beabsichtigte Resultat erreicht ist. Natürlich verfügt ein geübter Rechner dabei über gewisse Erfahrungssätze, doch im Grunde bleibt es ein Probieren.

Übrigens kann man auch statt der Rechnung ein zeichnerisches Verfahren anwenden, das aber meist sehr viel ungenauer sein wird.

Eine Art Umkehr der Durchrechnung der Strahlen kann man in der Bestimmung von Einfallspunkten erblicken. Augenscheinlich kann man auch Objekt- und Bildpunkt, beide, als gegeben ansehen (etwa Auge und Lichtquelle) und fragen, welchen Weg der Lichtstrahl verfolgt haben muß, insbesondere wo er die brechende oder spiegelnde Fläche trifft (Glanzpunkt, Incidenzpunkt). Derartige Fragestellungen treten in der meteorologischen Optik auf, aber auch in der Optik des täglichen Lebens, wenn man etwa irgendwelche Reflexe untersuchen will.

Neben der trigonometrischen Durchrechnung läuft die analytische Berechnung seit alter Zeit einher. Früher beschränkte man sich ausschließlich auf kleine Winkel. Wie sich aus der Reihenentwicklung für Sinus und Kosinus ergibt, kann man in der Tat bis zu Neigungen von zirka 6 Grad die trigonometrischen Funktionen durch den Winkel selbst bzw. durch die Einheit ersetzen. Dann werden alle Formeln sehr vereinfacht und man kann rein algebraisch vorgehen. Beschränkt man sich noch weiter auf die von einem einzigen Achsenpunkt ausgehenden Strahlen, so wurde die Aufgabe im wesentlichen bereits im 18. Jahrhundert gelöst. Man wußte damals schon, daß infolge der vorausgesetzten Kugelgestalt der brechenden Flächen nicht alle Bildstrahlen in einem Punkt vereinigt werden, auch wenn man nur Achsenpunkte als Objekte nimmt, sondern daß eine Abweichung auftritt, die um so größer wird, je größer die Neigung der vom Objektpunkt ausgehenden Strahlen wird. Man nannte das „sphärische Aberration". Interessant ist, daß bereits LEONHARD EULER den Einfluß untersuchte, den das Verhältnis der beiden Krümmungen einer Linse auf die Größe dieser Aberration hat. Er gab bereits die Krümmungsverhältnisse für die Linse kleinster Aberration an. Auch entdeckte er schon 1761, daß man durch Kombinationen mehrerer Linsen diese Abweichung gänzlich heben kann, und zwar braucht man bei einem Brechungsindex von $n = 1{,}55$ im ganzen 4 Linsen. Diese Entdeckung geriet jahrhundertelang in Vergessenheit. Erst im Jahre 1902 wurde sie von M. VON ROHR und A. KÖNIG ein zweites Mal gemacht und führte zur Konstruktion der sog. Monochromaten.

Natürlich ließ man diese Beschränkung auf Achsenpunkte gelegentlich fallen und bemerkte auch in der Tat schon sehr früh Fehler anderer Art für Punkte außerhalb der Achse; wohl rein

erfahrungsgemäß an den ersten optischen Werkzeugen, insbesondere den Okularen. Die ersten Vorschläge, solche Fehler ebenso wie auch die Aberration durch von der Kugelform abweichende Linsen und Spiegel zu beheben, waren rein spekulativ. Erst als die Technik handwerksmäßig aus vielen Linsen zusammengesetzte Objektive schon lange lieferte, wurde auch die theoretische Behandlung dieser außerachsialen Fehler in Angriff genommen.

Eine wesentlich höhere Stufe erreichte die Entwicklung aber mit einem Schlage durch die Arbeiten des Astronomen L. SEIDEL (1856), dessen Darstellung der Abbildungsfehler auch heute noch als maßgebend betrachtet wird.

Zwei Vorarbeiten mußten freilich noch geleistet werden. Nämlich einerseits eine Erweiterung des Konstruktionsmaterials durch die Möglichkeit, Gläser der verschiedensten Brechung und Dispersion zu verwenden. Dazu war erforderlich, diese Größen zu messen und im Spektrum auf bestimmte Linien festzulegen. Das leistete FRAUNHOFER.

Zweitens mußten gewisse allgemeine Eigenschaften der optischen Systeme bekannt und hinreichend geklärt sind, wie die Begriffe der Brennweiten, der Brennpunkte, der Hauptpunkte, der Vergrößerung usw. Das leistete GAUSS. Erst GAUSS brachte die Arbeiten seiner Vorgänger zu einem gewissen Abschluß, vor allem dadurch, daß er auch beliebig dicke Systeme behandelte und zeigte, daß man jedes optische System (wenigstens soweit es aus Rotationsflächen besteht) in Gedanken ersetzen kann durch eine einzelne brechende Fläche oder durch eine Linse von verschwindender Dicke und eine Verschiebung. Die Theorie von GAUSS, die absolut fundamental ist, gilt aber nur solange als man hinreichend kleine Winkel hat, also nur in einem fadenförmigen Raum längs der Achse. Man pflegt deshalb vom GAUSSschen Strahlengebiet zu sprechen im Gegensatz zum SEIDELschen Strahlengebiet, wo auch höhere Glieder der Reihenentwicklung für Sinus und Kosinus berücksichtigt werden.

Die Seidelsche Fehlertheorie.

Die SEIDELsche Fehlertheorie brachte in die teilweise schon früher bekannten Fehler zum ersten Male ein System herein und zeigte den inneren Zusammenhang zwischen ihnen. Es ergab sich zunächst eine Verringerung in der Zahl der Fehler. Entwickelt man nämlich den Sinus eines auftretenden Winkels in eine Reihe etwa

$$\sin\varphi = \varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!} \mp \cdots$$

und läßt dann alle höheren Glieder fort, so entsteht augenscheinlich die GAUSSsche Dioptrik. Nimmt man noch das nächste Glied mit, so hat es sich eingebürgert, in diesem Falle von der Theorie der Fehler dritter Ordnung zu sprechen, und entsprechend bei Mitnahme weiterer Glieder von dem Fehler fünfter Ordnung, siebenter Ordnung usw., so daß also nur ungerade Fehlerordnungen vorkommen.

Entwickelt man nun in den trigonometrischen Formeln für die Bildstrahlen die vorkommenden Wurzeln und trigonometrischen Funktionen jeweils bis zu Gliedern gleicher Ordnung, so kann man auch die Bestimmungsstücke dieses Bildstrahls (etwa die Schnittweiten) darstellen aus einem ersten Glied, das der fehlerfreien GAUSS schen idealen Abbildung entspricht und mindestens einem weiteren, das die Fehler ausdrückt. Würde man die Koeffizienten dieser weiteren Glieder zu Null machen, so wären dann die Fehler behoben und je nachdem ein Bild dritter, fünfter oder höherer Ordnung zustande gekommen. Die Aufgabe diese Koeffizienten aus den Radien, Brechungsverhältnissen und Abständen zu bestimmen, hat nun L. SEIDEL in vollkommener Weise gelöst. Die Hauptschwierigkeit lag natürlich in der richtigen Wahl der Entwicklungsvariabeln. Das große Verdienst SEIDELS liegt unter anderem darin, die Variabeln so gewählt zu haben, daß die Koeffizienten dritter Ordnung eines aus mehreren Flächen bestehenden Systems sich einfach additiv aus den Einzelkoeffizienten der einzelnen Flächen zusammensetzen lassen. Diese durch die Entwicklung nach den SEIDELschen Variabeln fest definierten Koeffizienten bezeichnet man heute allgemein als die SEIDEL *schen Bildfehler* und bezeichnet sie ihm zu Ehren mit S_1, S_2, S_3 usw. Er zeigte, daß es bei den Gliedern dritten Grades fünf unabhängige Koeffizienten gibt, also fünf Bildfehler dritter Ordnung, nämlich die sphärische Abweichung, die Koma, den Astigmatismus, die Bildfeldwölbung und die Verzeichnung. Geht man ein Glied weiter, so gelangt man zu den Bildfehlern fünfter Ordnung, von denen es neun gibt. Es sind die sphärische Aberration zweiter Stufe, die Koma zweiter Stufe, der Flügelfehler, die seitliche sphärische Aberration, der Pfeilfehler, die seitliche Koma, zwei Arten der seitlichen Bildwölbung und die seitliche Verzeichnung. Diese Untersuchung der Glieder fünfter Ordnung ist erst 1921 zu einem gewissen Abschluß gelangt (durch SONNENFELD). Bis dahin wurde noch von maßgebender Seite gelehrt, daß es nicht neun, sondern zwölf Bildfehler fünfter Ordnung gebe.

Während man vor SEIDEL und auch noch lange nach ihm — ja bis in die neueste Zeit hinein — einzelne Fehler herausgriff, etwa die sphärische Aberration näher untersuchte, bisweilen bis zu sehr hohen Ordnungen, wird man nicht übersehen dürfen, daß diese Fehler meist in einem inneren Zusammenhang stehen.

Deshalb knüpfen neuere Untersuchungen an die Frage an, wie sich die Fehlerreste ändern, wenn nicht alle Koeffizienten zum Verschwinden gebracht werden, sondern nur einige. Beispielsweise, wie wirkt die Koma, wenn der Astigmatismus behoben ist? Manchmal finden sich auch Spezialanforderungen, wie etwa bei Kameraobjektiven für die Aufnahme von Spektren oder die Abbildung

von Teilungen, wo nur die tangentielle Bildwölbung zu beheben ist und man auf Astigmatismus keine Rücksicht zu nehmen braucht, wodurch sich für die anderen Bildfehler günstige Möglichkeiten bieten.

Für die praktische Konstruktion ist es natürlich keineswegs das Beste, etwa die Koeffizienten dritter Ordnung ganz zum Verschwinden zu bringen, was auch meist gar nicht möglich ist, sondern man wird versuchen, sie entgegengesetzt gleich der Summe der Glieder höherer Ordnung zu machen.

Überhaupt darf man sich nicht vorstellen, daß etwa der Ausdruck „sphärisch korrigiert" zu bedeuten hätte, daß nun gar keine sphärische Abweichung vorhanden ist. Vielmehr heißt das nur, daß die Schnittweite für einen Strahl endlicher Neigung mit der eines axennahen Strahles zusammenfällt. Für die zwischenliegenden Neigungen hat die Schnittweite andere Werte. Diese im allgemeinen geringen Abweichungen werden „Zwischenfehler" oder „Zonenfehler", kurz „Zonen" genannt. Das Entsprechende gilt natürlich für die anderen Fehler.

Auch muß hier erwähnt werden, daß die bisherigen Betrachtungen sämtlich nur für monochromatisches Licht oder nur für Spiegelsysteme gelten, daß aber bei Linsen wegen der Dispersion des Brechungsindex noch Farbenabweichungen hinzutreten. Die einfache Achromatisierung ist bekanntlich zuerst dem englischen Optiker J. DOLLAND 1758 geglückt. Die Geschichte ihrer allmählichen Verbesserung steht in engem Zusammenhange mit der Entwicklung des optischen Glases. Auch unter Achromatisierung versteht man nur, daß z. B. die Schnittweite für zwei Farben gleiche Werte annimmt, für dazwischen und außerhalb liegende Farben bleibt eine Abweichung übrig, das sog. „sekundäre Spektrum". Da auch alle Bildfehler chromatische Variation aufweisen, erfordert die Befriedigung dieser sämtlichen Bedingungen meist mehr Variable, als in der Zahl der Konstruktionselemente zur Verfügung stehen, ganz abgesehen davon, daß auch die Variationsbreite der letzteren im allgemeinen nicht hinreicht. Deshalb muß man sich fast stets damit begnügen, in der Fehlerkurve diejenigen Gebiete aufzusuchen, wo wenigstens Minima auftreten. Man spricht dann von „stabiler Korrektion".

Über die theoretische Behandlung der Farbfehler ist hier nicht viel zu sagen. Soweit die geometrische Optik in Frage kommt, ist die Theorie wohl abgeschlossen. Eine endgültige Erledigung kann aber nur auf dem Boden der Beugungstheorie gelingen.

Im übrigen erschöpft sich dieser ganze Zweig der geometrischen Optik darin, die Resultate von SEIDEL entweder neu abzuleiten oder auf Sonderfälle anzuwenden und dadurch gelegentlich zu vereinfachen oder endlich noch Glieder höherer Ordnung hinzuzufügen.

So wertvoll und schön auch die SEIDEL*sche Fehlertheorie* ist, so darf man doch nicht vergessen, daß sie immer nur bei Beschränkung auf die niedrigsten Glieder gilt. Für die heutigen Instrumente muß man aber fast stets höhere Ansprüche stellen.

Beim Mikroskop z. B. ist zwar das Gesichtsfeld sehr klein, dafür sind aber die Lichtbündel sehr weit geöffnet. Für Aberration und Koma würde hier keine noch so weit fortgeführte Reihenentwicklung genügen, wird doch der halbeÖffnungswinkel bis über 70° groß.

Andererseits werden in einem photographischen Objektiv mit sehr enger Blende zwar Aberration und Koma eine geringe Rolle spielen. Wegen der gewünschten Abbildung ausgedehnter Flächen kann man aber Astigmatismus und Bildwölbung nicht mehr in einer geschlossenen Weise behandeln.

Weil man sowohl beim Mikroskop eine Ausdehnung des Gesichtsfeldes, wie noch mehr beim photographischen Objektiv, eine Steigerung der Helligkeit, also Vergrößerung der Öffnung, wünscht, reicht in allen diesen Fällen die SEIDELsche Darstellung nur in erster Annäherung, zur sog. „Vorrechnung" aus. Danach muß man doch wieder, so lästig es ist, zur trigonometrischen Durchrechnung, d. h. zum rechnerischen Probieren greifen.

Ein weites Feld innerhalb der geometrischen nehmen deshalb Arbeiten ein, die diese Durchrechnung erleichtern sollen. Erwähnt seien außer den mehr elementaren Formeln der Berechnung des Astigmatismus längs eines Strahles vor allem noch die Methoden zur Durchrechnung windschiefer Strahlen und die vielfachen Differenzenformeln. Letztere bezwecken, die oft sehr zeitraubende vollständige Durchrechnung der Strahlen nur ganz wenige Male ausführen zu müssen und dann einen benachbarten Strahl oder denselben Strahl bei kleiner Änderung der Konstruktionselemente sofort algebraisch ermitteln zu können.

Die Sinusbedingung.

Sehr nützlich ist bei dieser Durchrechnungsmethode, daß man dank ERNST ABBE seit 1872 in der sog. *Sinusbedingung* ein Kontrollmittel besitzt, das nicht auf irgendwelche Annäherung beschränkt ist, sondern ganz allgemein für beliebig große Öffnungen gilt. Wenn nämlich *nach Behebung* der sphärischen Aberration das Verhältnis zwischen dem Sinus des Winkels, den ein objektseitiger Strahl mit der Achse bildet, und dem Sinus des entsprechenden Winkels auf der Bildseite für alle vorkommenden Neigungen dasselbe ist, so wird nicht nur ein Punkt auf der Achse, sondern ein Flächenelement senkrecht zur Achse scharf und fehlerfrei abgebildet. Man nennt diesen Zustand bekanntlich *Aplanatismus*. ABBE zeigte bereits, daß bei einem gegebenen System diese Bedingung nur für ein einziges Punktepaar erfüllt sein kann.

Dieser Sinussatz, der übrigens schon aus allgemeinen energetischen Betrachtungen folgt, ist

gleichzeitig die Bedingung für Aufhebung der Koma sowie in etwas beschränktem Sinne für Beseitigung der Verzeichnung.

Von Interesse ist neuerdings die Frage geworden, welche Bedeutung eigentlich dem Sinussatz innewohnt, wenn die sphärische Abweichung *nicht* behoben ist. Wenn schon in der Achse sphärische Aberration vorhanden ist, so sollte selbstverständlich eine scharfe Abbildung eines kleinen Flächenstückchens erst recht unmöglich sein. Es zeigt sich aber, daß eine so verallgemeinerte Sinusbedingung immer noch den Sinn hat, das bei ihrer Erfüllung die Abbildung eines seitlich der Achse gelegenen Punktes nicht wesentlich schlechter als die des Achsenpunktes selbst ist. Man nennt diesen Zustand die *Isoplanasie* (LIHOTZKI 1919). Die Koma in der Nähe der Achse ist damit behoben.

Diese ganzen Sätze scheinen nun Sonderfälle eines sehr allgemeinen Gesetzes zu sein, das T. T. SMITH 1923 angegeben hat und das er Kosinusgesetz nennt. Es kann danach ganz allgemein das Verhalten von Strahlen in der Nachbarschaft eines gegebenen Strahls bestimmt werden, wie auch das System beschaffen sein mag und ob Abweichungen vorhanden sind oder nicht.

Die Kaustik.

Ausschlaggebend ist es natürlich bei der trigonometrischen Durchrechnung, daß man nicht irgendwelche beliebigen vereinzelten Strahlen verfolgt, sondern die wirklich wichtigen auswählt. Deshalb beschäftigen sich viele Untersuchungen zur geometrischen Optik auch in neuester Zeit mit der Frage, ob es nicht z. B. bei einem Mikroskopobjektiv genügt, außer einem Achsenstrahl nur noch *einen* weiteren Strahl zu untersuchen. Es ist klar, daß das nicht der äußerste Randstrahl sein kann, sondern daß man eine mittlere Zone aussuchen wird, um ein möglichst großen Bereich von Neigungen beurteilen zu können. Indes kann die restlose Beantwortung dieser Frage wohl nur von der Beugungstheorie geliefert werden.

Will man andererseits Strahlenbündel großer endlicher Neigungen untersuchen, z. B. in einem Photoobjektiv, so ist ersichtlich derjenige Strahl, der etwa auf die Mitte der ersten Linse fällt, keineswegs kennzeichnend für die Abbildung in dieser Richtung, wird er doch im allgemeinen recht unsymmetrisch zu dem Schwerpunkt des überhaupt durchgelassenen Bündels liegen. Verfolgt man alle Strahlen des Bündels auf der Bildseite bis zu ihrem Schnittpunkt miteinander, so kann man leicht die einhüllende Kurve oder vielmehr Fläche zeichnen bzw. berechnen, die sog. *Kaustik*. Diese kaustische Fläche hat im allgemeinen eine Spitze, in der eine Strahlenvereinigung höherer Ordnung stattfindet. Der symmetrisch durch diese Spitze gehende Strahl ist als der eigentliche Träger des Bildes anzusehen. Meist wird es genügen, ihn allein zu berechnen. Der diesem Bildstrahl auf der Objektseite entsprechende Strahl schneidet die Achse in der Mitte der sog. natürlichen Blende", die so zu fundamentaler Bedeutung für die Berechnung gelangt. Diese Verhältnisse sind zuerst von GLEICHEN 1903 erkannt worden und werden seitdem fortgesetzt untersucht.

Die nähere Betrachtung der Kaustiken überhaupt hat seit 100 Jahren im wesentlichen geruht, da man sich keinen praktischen Erfolg davon versprach. Es ist aber anzunehmen, daß sie wegen ihrer nahen Beziehung zur Wellenfläche noch einmal zu erhöhter Bedeutung gelangen werden.

Die Strahlenbegrenzung.

Die natürliche Blende GLEICHENS mag hier (anders als in der historischen Entwicklung) überleiten zu der Frage, welche Bedeutung die Blenden überhaupt für die optische Abbildung besitzen.

Der erste, der sich systematisch mit ihrer Wirkung befaßte, war wohl HELMHOLTZ. Er führte z. B. die Begriffe Eintrittspupille und Austrittspupille eines optischen Systems ein und erkannte ihre Bedeutung für die Perspektive. Doch rührt fast der gesamte Inhalt der heutigen Lehre von den Blenden von ERNST ABBE her. Nur wenige Zusätze stammen aus neuerer Zeit von VON ROHR, so daß dies ganze Gebiet wohl als gewissermaßen abgeschlossen gelten kann. Erweiterungen sind vielleicht noch zu erwarten bei der Anwendung auf einzelne Instrumente mit mehreren Aperturblenden und mehreren Gesichtsfeldblenden.

Ursprünglich nahm man an, daß die durch die Mitte der Blenden gehenden Strahlen, als sog. Hauptstrahlen, diejenigen sind, die allein und vollständig den Strahlengang des optischen Geräts bestimmen. Das trifft natürlich für seitliche Bildpunkte nicht immer zu, so daß die Bedeutung der Lehre von der Strahlenbegrenzung dadurch etwas eingeschränkt wird.

Eine andere Seite der Blendenwirkung ist ihr Einfluß auf die *Helligkeit* der optischen Bilder. Bei sehr kleinen Sehwinkeln gelten hier die einfachen geometrischen Sätze nicht mehr ohne weiteres, da dann die Struktur der Netzhaut bzw. der photographischen Platte eine Rolle spielt, so daß sich hier Übergänge zur physiologischen Optik einerseits, zur Photochemie andererseits herausstellen, die gegenwärtig noch bearbeitet werden. Bei der Berechnung der Helligkeit eines mit Zerstreuungskreisen abgebildeten Gegenstandes kommt man zur Frage der Kontrastwirkung.

Ferner sind die Fragen, wie die *Bildgüte* von der Blendenöffnung abhängt, noch nicht restlos erledigt, doch gehört das nicht mehr voll zur geometrischen Optik, da hier bereits die Beugung eine maßgebende Rolle spielt.

Die letzte Seite der Blendenwirkung, nämlich ihre Benutzung zur flächenhaften Darstellung eines räumlichen Gegenstandes ist als Lehre von der *Perspektive* rein geometrischer Natur und darf wohl als erledigt gelten.

Die kollineare Abbildung.

Die GAUSS sche Theorie der Abbildung ist so elegant und einfach, daß die Vermutung nahe lag, daß die darin entwickelten allgemeinen Lage- und Größebeziehungen überhaupt nicht physikalischer Natur seien, sondern nur von gewissen mathematischen Voraussetzungen abhängen. In der Tat zeigte ERNST ABBE seit ca. 1872 in seinen Vorlesungen, daß man noch nicht einmal das Brechungsgesetz braucht, um zu diesen Beziehungen zu gelangen, sondern daß die Annahme genügt, daß überhaupt eine punktuelle Abbildung vorliegt. Wenn man nur annimmt, daß alle in einem Objektraum von einem Punkt ausgehenden Strahlen in dem Bildraum, dessen Lage zum Objektraum beliebig sein darf, wieder in einem Punkte vereinigt werden, so besteht bereits eine gewisse Verwandtschaft zwischen beiden Räumen, die der Mathematiker projektivisch oder kollinear nennt. Ihre analytische Behandlung durch ABBE liefert ohne weiteres die Begriffe von Brennpunkt, Brennweite, Hauptpunkt, Knotenpunkt, ferner die Abbildungsgleichungen mit den Begriffen der rechtläufigen und rückläufigen, sowie der rechtwendigen und rückwendigen, und der kollektiven und dispansiven Abbildung, ferner die Longitudinal- oder Tiefenvergrößerung, die Lateralvergrößerung, die Winkelvergrößerung bzw. das Konvergenzverhältnis und die Beziehungen zwischen ihnen. Ferner ergeben sich ohne weiteres die Begriffe der brennpunktslosen oder teleskopischen Abbildung, sowie einfache Gesetze über die Zusammensetzung mehrerer Abbildungen.

Die Gesetze der kollinearen Abbildung wurden auch synthetisch entwickelt, so besonders eingehend von BÖGER 1920, wobei die Maßverhältnisse nur als Sonderfälle von Lagebeziehungen erscheinen. Neues kann sich dabei gegenüber ABBE natürlich nicht ergeben, doch mag es als ein Vorteil erscheinen, wenn Rechnung mit Koordinaten durch bloße Anschauung ersetzt wird.

Dies ganze System der kollinearen Abbildung verliert nun aber dadurch erheblich an Wert, daß es physikalisch nicht zu realisieren ist. Innerhalb des GAUSSschen fadenförmigen Raumes gilt es natürlich ohne weiteres. Dadurch verführt, hat man aber die Kollineation bis vor kurzem stets auch als Ideal der Abbildung überhaupt aufgefaßt und die Abweichungen der tatsächlichen Abbildung als Fehler bezeichnet. Diese Darstellung findet sich bis heute in fast allen Lehrbüchern, aber die physikalische Realisierung für größere Winkel ist nicht nur praktisch unmöglich, sondern abgesehen von trivialen Fällen mit den allgemeinen Sätzen von FERMAT und MALUS gar nicht zu vereinbaren, also schon prinzipiell unmöglich, wie man erst verhältnismäßig spät erkannt hat.

Es blieb dem schwedischen Ophthalmologen GULLSTRAND vorbehalten, zu zeigen, daß die Kollineation — unabhängig von ihrer Realisierbarkeit — auch nicht als Ideal der optischen Abbildung hingestellt werden kann, da es nicht möglich ist, die reellen Tatsachen als Abweichung von diesem Ideal konsequent darzustellen. Schon bei der Brechung unter schiefem Lichteinfall genügt nicht eine einheitliche kollineare Abbildung, sondern man muß mit zwei verschiedenen rechnen, entsprechend der sagittalen oder äquatorialen und der meridionalen oder tangentialen Bildfläche. Auch dann lernt man nur den Abbildungsvorgang kennen, soweit derselbe bestimmt ist durch Strahlen, die in der Meridianebene verlaufen oder durch eine auf dieser senkrecht stehenden Linie gezogen sind. Diese Strahlen bilden aber natürlich nur einen unendlich kleinen Teil der gesamten bei der Abbildung vorkommenden Strahlenmenge.

Strahlensysteme.

Nach einem schon 1662 von P. FERMAT aufgestellten Satz ist die Summe der Wege, die ein Strahl von einem Objektpunkt zu einem Bildpunkt durchläuft, der sog. „Lichtweg" oder die „optische Weglänge" ein Minimum (— genauer gesagt ein Extremum. Doch ist der Fall eines Maximums praktisch sehr selten —). Steht nun ein Bündel von Lichtstrahlen zu einer Fläche und infolgedessen zu allen Parallelflächen senkrecht (Normalenbündel), so behält es diese Eigenschaft nach beliebig vielen Brechungen und Spiegelungen bei. Der Lichtweg zwischen zwei solchen Flächen ist für alle Strahlen derselbe. Dieser 1810 von MALUS gefundene Satz lieferte in Verbindung mit den Grundzügen der allgemeinen Flächentheorie den Ausgangspunkt für die 1845 von I. C. STURM gegebene Darstellung von der Konstitution von Strahlenbündeln. Danach sollen sämtliche Strahlen eines Bündels bis auf Größen zweiter Ordnung durch zwei zueinander und zum Hauptstrahl des Bündels senkrechten Geraden, die sog. Brennlinien, gehen. Diese Darstellung wurde zur Grundlage der Theorie des Astigmatismus.

Trotzdem sie sich auf die Elemente der Flächentheorie mit der Lehre von den beiden Hauptkrümmungen berufen kann, ist diese Darstellung für die Verhältnisse in optischen Strahlenbündeln doch nicht richtig. Es ist eins der Hauptergebnisse der neueren geometrischen Optik, dies erkannt zu haben. Aber es wird wohl noch lange dauern, bis die STURMsche Darstellung aus den Lehrbüchern verschwindet.

Offenbar ist es ganz willkürlich, gerade zwei zum Hauptstrahle senkrechte Geraden an Stelle irgendwelcher anderen Linien auszuwählen. Nimmt man Größen höherer Ordnung mit, so läßt sich zeigen, daß zwar die senkrechten die ihnen zugeschriebene Bedeutung bisweilen besitzen, daß diese aber ebensowohl auch auf andere Linien fallen kann, wie daß überhaupt keine Linien von der verlangten Eigenschaft vorhanden zu sein brauchten.

ALLVAR GULLSTRAND hat dann ca. 1906 weiter gezeigt, daß ganz allgemein in optischen Systemen eine Abbildung nicht von Punkten, sondern von Linien stattfindet. Auf jeder beliebigen Objekt-

fläche gehen durch jeden Punkt zwei Linien, die optisch abgebildet werden, natürlich an verschiedener Stelle, während der Punkt selbst als solcher nicht streng abbildbar ist.

Da diese Liniensysteme nicht punktuell abgebildet werden, so kann die Vergrößerung nur durch das Verhältnis des Abstandes zweier Bildlinien zum Abstand der entsprechenden abbildbaren Linien ausgedrückt werden. Zu jedem Punkt der Objektfläche gehören dann zwei, den beiden Abbildungen entsprechende, Vergrößerungskoeffizienten.

Von diesen Grundzügen einer „allgemeinen optischen Abbildung" ausgehend, hat GULLSTRAND dann in umfangreichen, in der schwedischen Akademie erschienenen Arbeiten allmählich die ganze geometrische Optik durchgearbeitet. Natürlich gelangte er auch zu einer Fehlertheorie, sowie zu Rechenformeln. Sein Werk, das nur langsam bekannt wird, wird wohl seine volle Anerkennung erst in Zukunft finden.

Es sei noch einmal hervorgehoben, daß er keinerlei Annahmen über die Natur des Lichtes braucht, allerdings ist in dem MALUSschen Satze, der seinem ganzen System zugrunde liegt, das Brechungsgesetz implizite enthalten. Wenn GULLSTRAND beispielsweise durch die Strahlensysteme Flächen legt, die auf sämtlichen einzelnen Strahlen senkrecht stehen, und diese Flächen dann „Wellenflächen" nennt, so ist das nur die Befolgung einer allgemeinen eingebürgerten Nomenklatur, hat aber mit der Wellentheorie des Lichtes nichts zu tun.

Seine ganze Methode kann man auch als die *Flächentheoretische Behandlung der geometrischen Optik* bezeichnen.

Das Eikonal.

Nach dem FERMATschen Satze muß die Variation des gesamten Lichtweges verschwinden. Die Summe aller Lichtwege eines Strahlenganges von Objekt zu Bildpunkt, der sich bei einfach brechenden, homogenen Medien als geknickter, aus geradlinigen Stücken bestehender Linienzug darstellen wird, läßt sich nun berechnen und stellt die von W. R. HAMILTON zuerst untersuchte sog. „charakteristische Funktion" dar. Sie trägt insofern Potentialcharakter, als ihre Differentialquotienten in jedem Punkte die Richtung der hindurchgehenden Strahlen bestimmen. Ihr Wert geht an der Grenzfläche zweier Medien stetig ineinander über, während die Differentialquotienten dort unstetig sind. HAMILTON hat anscheinend schon um 1830 herum seine Funktion in Verbindung mit dem FERMATschen Satz auf spezielle optische Systeme einfacher Art, z. B. ein Prisma, angewandt. Historisch interessant ist, daß er erst hierdurch dazu kam, auch Aufgaben der Mechanik in ähnlicher Weise zu behandeln. Die Analogie lag für ihn nahe, da er noch von der NEWTONschen Emissionstheorie des Lichtes ausging. Außer ehrenvoller Erwähnung auf den ersten Seiten der optischen Lehrbücher hat man aber viele Jahrzehnte lang keinen weiteren Gebrauch von der HAMILTONschen Funktion gemacht.

Erst 1895 hat der Astronom BRUNS, ohne HAMILTON zu kennen, eine Funktion untersucht, die er „Eikonal" nannte. Er ging dabei von dem MALUSschen Satze aus, und stellte fest, daß zu seiner Erfüllung sechs Differentialgleichungen zwischen den Strahlenkoordinaten vor und nach dem Durchgange durch ein optisches System gelten müssen. Als Beziehung zwischen dem Objekt- und Bildraum legte er nicht eine punktweise Abbildung zugrunde, wobei er die kollineare Verwandtschaft erhalten hätte, sondern ging von einer nur strahlenweisen aus. Dann besteht die Beziehung der beiden Räume zueinander in einer Berührungstransformation.

F. KLEIN zeigte 1901, daß dies BRUNSsche Eikonal im Grunde nichts anderes als die HAMILTONsche charakteristische Funktion ist.

Praktische Bedeutung gewannen diese Arbeiten freilich erst, als K. SCHWARZSCHILD 1905 zeigte, wie man das Eikonal tatsächlich zur Berechnung optischer Systeme gebrauchen könne. Die Beziehung zwischen den Anfangs- und Endkoordinaten des Lichtweges ist an sich sehr kompliziert, da ja alle Krümmungsradien, Dicken und Materialkonstanten der dazwischenliegenden Systemteile eingehen, und auch die Koordinaten der Schnittpunkte des betrachteten Strahls mit den Bezugsflächen oder Bezugsrichtungen nicht leicht zu eliminieren sind. Er wandte schließlich ein Verfahren an, das dem in der Himmelsmechanik üblichen verwandt ist, wo man *die* Bahnelemente einführt, die ohne Störungen konstant sind, und dann nachträglich die Änderungen dieser Elemente infolge der Störungen berechnet. Durch Einführung von neuen Variabeln, die der SEIDELschen Betrachtungsweise entnommen sind, gelang ihm die Elimination dieser Zwischenvariabeln so vollkommen und elegant, daß er nicht nur zu einer allgemeinen Übersicht über die Fehler beliebiger Ordnung und ihrer Zusammenhänge gelangte, sondern auch die einzelnen Reihenkoeffizienten leicht auf die Konstruktionselemente des optischen Systems zurückführen konnte.

Man kann wohl annehmen, daß diese Eikonaldarstellung, die seit SCHWARZSCHILD natürlich fortgeführt wurde, noch einmal zu größerer Bedeutung wenigstens für die Vorrechnung gelangen wird.

Asphärische Flächen.

Die ersten Versuche des 17. Jahrhunderts, andere als Kugelflächen zur optischen Abbildung zu benutzen, waren fehlgeschlagen, so daß eine verzerrte Abbildung — oft als Anamorphose bezeichnet, obwohl das Wort eigentlich das Gegenteil bedeutet — seitdem nur noch als Spielzeug oder Scherz im Panoptikum und auf Jahrmärkten angewandt wurde. Das hat natürlich auch ihre theoretische Behandlung verhindert.

Neuerdings ist auch dies Gebiet wieder interes-

sant geworden. Wir verfügen seit 1909 durch M. LANGE über Durchrechnungsformeln für die Kegelschnittflächen und die Arbeiten GULLSTRANDS sowohl wie die Eikonaldarstellung sind so allgemein, daß sie auch beliebig deformierte Flächen mitumfassen.

In der praktischen Anwendung steht man freilich erst im Anfange. Wenn man von den längst benutzten zylindrischen Linsen absieht, so kommen bisher nur einige Brillengläser und Beleuchtungslinsen in Betracht. Allerdings führt auch die nachträgliche Retouche von großen Fernrohrobjektiven zu asphärischen Flächen. Doch muß sie solange als handwerksmäßig bezeichnet werden, als sie ohne vorherige Berechnung rein empirisch ausgeführt wird.

Es scheint aber die Zeit nahe, wo man ganz allgemein asphärische Flächen in optischen Systemen verwenden wird und damit sicher eine Verringerung in der Zahl der Flächen, wahrscheinlich auch eine Verbesserung der Leistungen erreichen wird. Auch hier ist wieder GULLSTRAND der Bahnbrecher durch seine 1919 angegebene Maschine zur Herstellung solcher Flächen und seine Regeln für das Rechnen mit solchen Flächen. Allerdings handelt es sich im wesentlichen bisher nur um eine von Punkt zu Punkt fortschreitende Konstruktion, aber die Errechnung passender Flächen auf analytischem Wege in geschlossener Form gelingt vielleicht auch noch eines Tages.

Es sollte im Vorstehenden gezeigt werden, wie die geometrische Optik keineswegs das sterile „abgegraste" Gebiet ist, als welches sie oft betrachtet wird. Gewiß sind manche Gebiete abgeschlossen, doch regt sich dafür an vielen anderen Stellen neues Leben. Große Überraschungen, neue Entdeckungen fundamentaler Art sind trotzdem nicht zu erwarten, aber auch die besonnene, ruhige Durchforschung und Weiterbildung hat ihre wissenschaftlichen Reize.

Ein empfindlicher Indikator für Veränderungen im Chemismus der Binnengewässer.

Von AUGUST THIENEMANN, Plön.

(Aus der Hydrobiologischen Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.)

Die biologische Wasseranalyse, die bekanntlich aus der Zusammensetzung der Pflanzen- und Tierwelt eines Gewässers auf dessen chemische Beschaffenheit schließt, spielt heute vor allem bei der Untersuchung und Beurteilung von Gewässerverunreinigungen eine große Rolle. Sie ist imstande, Quelle und Grad einer Verunreinigung auch dann festzustellen, wenn das schädliche Abwasser zur Zeit der Untersuchung gerade nicht abläuft, was der chemischen Analyse des Wassers natürlich nicht möglich ist. ***Zahlen*** über die Stärke der Verunreinigung kann sie indessen nicht geben und ebenso kann sie die ***Art*** der Verunreinigung nicht im einzelnen feststellen. Das muß der chemischen Untersuchung vorbehalten bleiben. Doch ist es für die praktische Beurteilung z. B. eines Fischsterbens am wichtigsten, zuerst Klarheit darüber zu schaffen, ob überhaupt eine Wasserverunreinigung als Ursache in Frage kommt, wo sie gegebenenfalls ihren Ursprungsherd hat und welche Intensität die Schädigung erreicht.

Jede Verfeinerung der Methode der biologischen Beurteilung der Gewässer stellt eine wertvolle Waffe im Kampfe um die Reinhaltung unserer Gewässer dar!

Wenn wir auch im allgemeinen unsere Schlüsse nicht auf dem Vorhandensein oder Fehlen ***einzelner*** Organismenarten aufbauen, sondern die gesamte Lebensgemeinschaft einer bestimmten Lebensstätte für die Beurteilung der chemischen Beschaffenheit des betreffenden Biotops heranziehen, so gibt es doch eine Anzahl von einzelnen Tier- und Pflanzenformen, die schon an und für sich wertvolle Indikatoren für den Chemismus ihres Wohnwassers darstellen. So weist das Vorhandensein der sog. Abwasserpilze ***Sphaerotilus*** und ***Leptomitus*** mit Sicherheit auf Fäulnisvorgänge im Wasser hin, der Krebs ***Artemia salina*** und die Larven der Fliege ***Ephydra riparia*** zeigen, daß das Wasser einen abnorm hohen Kochsalzgehalt besitzt, und wenn in einem Bachlaufe der Strudelwurm ***Planaria gonocephala*** lebt, dann ist das Wasser unbedingt als biologisch rein anzusehen.

Zu den Tieren, die mit Recht als „zuverlässige Kennzeichen für einwandfreie biologische Zustände" (WUNDSCH) in einem Gewässer gelten, gehört auch der allgemein in Quellen, Bächen, Flüssen sowie in Seen verbreitete Flohkrebs ***Gammarus pulex***.

Er ist (vgl. WUNDSCH im Arch. f. Hydrobiologie 13, 491 f.) ein „Mesoxybiont", d. h. er braucht zu normaler Entwicklung ein Wasser mit „dauernd raschem Sauerstoffersatz und relativ hohem Sauerstoffgehalt"; er ist in seiner Ernährung gebunden an grüne Pflanzen, ist „empfindlich gegen alle Arten anorganischer Verunreinigung, weniger empfindlich gegen organische Verunreinigung, solange es sich lediglich um gelöste, nicht stark faulende organische Substanzen handelt und solange der absolute O_2-Gehalt des Wassers genügend hoch bleibt". „An allen Orten seines normalen Vorkommens ist er stets ein Glied der Reinwassertierwelt." Und daher ist „vom fischereibiologischen Gesichtspunkt betrachtet ***Gammarus*** in normaler, optimaler Entwicklung das Kennzeichen fischereibiologisch einwandfreien Wassers".

Nun ist aber in vereinzelten Fällen die Beobachtung gemacht worden, daß sich ***Gammarus*** auch in Strecken eines Flußlaufes findet, in denen schon die starke Wucherung der eben genannten Abwasserpilze eine kräftige organische Verunreinigung anzeigt. Aber auch in diesen Fällen kann man am ***Gammarus*** nachweisen, daß das betreffende Wasser keine normale chemische Beschaffenheit aufweist.

Auf den Kiemenblättchen von ***Gammarus pulex*** (und nur auf diesen!) leben mit überaus großer Regelmäßigkeit zwei festsitzende epizoische Protozoen, das peritrische Infusor ***Spirochona gemmipara Stein*** und das Sauginfusor ***Dendrocometes paradoxus Stein***; nicht ganz so regelmäßig aber immer noch sehr häufig treffen wir hier ***Epistylis steini Wrzesniowsky*** an, die ebenfalls für die Gammaruskiemen spezifisch ist; seltener, und daher hier nicht in den Kreis unserer Betrachtung zu ziehen ist ***Lagenophrys ampulla Stein***.

Ich fand (vgl. f. Hydrobiol. 8, 283—284) in Wiesengräben der Umgebung von Braunschweig *Gam-*

marus regelmäßig mit *Spirochona* und *Dendrocometes* besetzt. „Nun ist *Gammarus pulex* an sauerstoffreiches Wasser gebunden, und mit ihm die beiden Infusorien. Aber die Anpassungsfähigkeit an etwas sauerstoffärmeres Wasser ist bei *Gammarus* größer als bei *Dendrocometes* und *Spirochona*. In einem Wiesenbach bei Thiede, dessen Wasser einen Sauerstoffgehalt von 8,01 ccm im Liter (Sauerstoffzehrung 0,33) hat, ist *Gammarus* samt seinen Raumparasiten reichlich vorhanden. Bei Leiferde in der Oker kommt zwar *Gammarus* auch vor, nicht aber *Spirochona* und *Dendrocometes:* die Verschmutzung der Oker durch organische Stoffe (Zuckerfabriken) hat ihren Sauerstoffgehalt auf 2,70 ccm im Liter (Zehrung 1,66) herabgesetzt. Dieser chemische Faktor schließt die beiden Infusorien aus."

Bei seinen biologisch-faunistischen Studien über „die sessilen peritrischen Infusorien und Suctorien von Basel und Umgebung" (Revue Suisse de Zoologie 28. 1021) hat im Anschluß an diese Beobachtung auch F. KEISER zu wiederholten Malen feststellen können, daß in verhältnismäßig sauerstoffarmen Gewässern wohl *Gammarus* noch vorkommen kann, dann sind aber die Krebse stets frei von *Spirochona* wie *Dendrocometes*.

Daß aber nicht nur organische Verunreinigung eines Wassers die Existenz der beiden Epizoen der Kiemenblättchen von *Gammarus* unmöglich macht, daß vielmehr auch andere chemische Veränderungen des Wassers in dem gleichen Sinne wirken, zeigte zuerst eine Beobachtung, die ich zusammen mit R. SCHMIDT beim Studium der Salzwasserfauna Westfalens machte (vgl. R. SCHMIDT, Die Salzwasserfauna Westfalens. Inaug.-Dissertation Münster i. W. 1913, S. 51). In einem Graben der Saline Salzkotten, dessen Salzgehalt zur Zeit der Untersuchung zwischen 5,62 und 25,37 g pro Liter schwankte, fanden sich stets, wenn auch nicht immer zahlreich, Exemplare von *Gammarus pulex*: ihre Kiemenplättchen waren frei von Epizoen!

Das Fehlen der Bewohner der Kiemenblättchen bei *Gammarus pulex*, der im Salzwasser lebt, habe ich neuerdings wieder feststellen können. Bei der in den letzten Jahren vorgenommenen Untersuchung der Salzgewässer von Bad Oldesloe in Holstein traf ich *Gammarus* in Massenentwicklung in einer Salzquelle an, die bei einer konstanten Temperatur von 10—10,5° C einen ebenfalls überaus gleichmäßigen Salzgehalt von 5,56—5,85 g NaCl pro Liter hat. Während in den normales Süßwasser führenden Gräben der Umgebung die Kiemen des Flohkrebses stets mit *Spirochona* und *Dendrocometes* besetzt sind, fehlen diese Epizoen bei dem *Gammarus* der Salzquelle gänzlich.

Zum Schluß sei hier noch eine Beobachtung angeführt, die ich kürzlich bei Gelegenheit einer biologischen Abwasseruntersuchung machen konnte. Eine Fabrik läßt stoßweise ab und zu stark sauere Abwässer abfließen; diese sammeln sich erst in einem Seitengraben und werden durch diesen einem kleinen, ursprünglich sehr fischreichen Ebenenflüßchen zugeführt. In diesem Flüßchen trat auf einer langen Strecke vor 2 Jahren zum ersten Mal ein totales Fischsterben ein; die von oben her und von Seitenzuflüssen wieder eingewanderten Fische wurden durch erneute Abwasserwellen immer wieder abgetötet, so daß auch im Mai dieses Jahres, als ich dort untersuchte, der Flußlauf auf der betreffenden Strecke fischleer war. Nun war aber die letzte *stark* saure Abwasserwelle anscheinend schon vor längerer Zeit, sicher vor mehreren Wochen, abgeflossen. Denn makroskopisch gesehen, waren die biologischen Verhältnisse in dem Seitengraben normal; das tierische Leben war reich, auch Mollusken waren in Menge vorhanden, die sonst aus begreiflichen Gründen schon schwachsaure Wässer meiden. Ähnlich lagen die Verhältnisse in dem Flüßchen selbst; auch hier, abgesehen von dem Fehlen der Fische, normales Tierleben; nur die großen Muscheln aus der Familie der Unioniden, die vor 2 Jahren wohl vollständig abgetötet waren und als träge, schwer bewegliche Tiere nicht wieder eingewandert waren, fehlten im lebenden Zustande ganz; nur leere Schalen waren vorhanden. Die Reaktion des Wassers war am Untersuchungstage normal. So schien sich im Wasserchemismus wie in der niederen Organismenwelt des Wassers die Wirkung der Abwässer nicht mehr wiederzuspiegeln. Wenn man aber die überall in Mengen lebenden Flohkrebse auf ihre Kiemenepizoen untersuchte, ergab sich Folgendes:

In den in den Seitengraben mündenden reinen Wiesengräben waren die Kiemenblättchen der *Gammari* sämtlich mit *Spirochona*, *Dendrocometes* und *Epistylis* dicht besetzt;

in dem Seitengraben waren die meisten *Gammari* ganz frei von Kiemenepizoen oder trugen ausschließlich *Epistylis*; nur ganz einzelne hatten einen überaus spärlichen *Spirochona*- und *Dendrocometes*besatz; diese waren augenscheinlich erst vor kurzem aus den reinen Wiesengräben in den Seitengraben eingewandert;

in dem Flüßchen selbst trug kein *Gammarus*, *Spirochona* oder *Dendrocometes*; nur *Epistylis* fand sich hier auf den Kiemenblättern.

Aus all diesen Beispielen geht hervor, daß die Anpassungsbreite an Veränderung der normalen chemischen Beschaffenheit des Wassers bei *Gammarus pulex* eine bedeutend größere ist, als bei den Epizoen seiner Kiemenblättchen. Diese verschwinden sowohl bei organischer Verunreinigung des Wassers durch faulende Stoffe, wie bei abnormer Erhöhung des Salzgehaltes, insbesondere des Kochsalzgehaltes, wie auch bei Verschiebung der Reaktion des Wassers nach der sauern Seite hin. Allerdings ist auch bei den verschiedenen Arten der Kiemenbewohner die „Stenohalinität" verschieden stark ausgeprägt. Extrem stenohalin sind *Spirochona* und *Dendrocometes*, während *Epistylis* sich gelegentlich auch in Wässern noch findet, die für die beiden anderen Formen schon unbewohnbar sind. Thermisch sind diese Tiere dagegen sehr anpassungsfähig; denn sie finden sich auf den Flohkrebsen sowohl im kaltstenothermen Quell- und Bergbachwasser, wie auch im Litoral der Flachlandseen mit seinen großen Temperaturschwankungen.

Die Kiemenepizoen von Gammarus pulex stellen also einen empfindlichen Indikator für Veränderungen im Chemismus unserer Binnengewässer dar, der in der Praxis der biologischen Wasseranalyse nicht unberücksichtigt bleiben darf.

[Nach neuen Beobachtungen BUDDES (Zeitschr. f. Morphologie u. Ökologie d. Tiere 3, 780. 1925) ist auch das auf *Gammarus* lebende Rädertier *Callidina parasitica* von dem Sauerstoff des Wassers abhängig und verschwindet bei zu niedrigem Sauerstoffgehalt. Da diese Rädertiere aber nicht, wie die eben behandelten Infusorien, auf ihren Wirten festgewachsen sind, sondern sich nur lose an ihnen halten und bei Konservierung der Flohkrebse von diesen abfallen, sind sie für die biologische Beurteilung verunreinigter Gewässer in Praxi weniger wichtig, als *Spirochona*, *Dendrocometes* und *Epistylis*.]

Besprechungen.

HARTMANN, MAX, **Biologie und Philosophie.** Berlin: Julius Springer 1925. 53 S. 14 × 22 cm. Preis 2,40 Goldmark.

Daß einmal ein Philosoph auf einer Naturforscherversammlung erklären konnte, die Erkenntnistheorie schaffe die Erkenntnisse wieder ab, die die Naturforschung geschaffen habe, das klingt uns heute schon wie ein Märchen aus uralten Zeiten und ist doch eine wahre Geschichte, die wir alle noch erlebt haben. Daß sie uns aber wie ein Märchen klingt, daß wir schon heute von jenem seligen Philosophen überzeugt sind, er habe seinem eigenen Fache wohl ebenso fern gestanden wie der Naturforschung, das beweist, daß in der Wirklichkeit Philosophie und Naturforschung einander doch schon viel näher gekommen sind, sich gegenseitig inniger durchdrungen haben, als in der Meinung jenes Philosophen. Und weil solche gegenseitige Annäherung und Durchdringung in der Geschichte beider Wissensgebiete auch immer deren wahrhaft produktivsten und fruchtbarsten Epochen bezeichnete (die Namen GALILEI, DESCARTES, LEIBNIZ, NEWTON, KANT, LOTZE, HELMHOLTZ, ROBERT MAYER, um wenigstens einige zu nennen, mögen das kurz illustrieren), so scheint die wahrhaft produktive Fruchtbarkeit auch der Gegenwart bereits eine günstige Meinung für sich zu haben.

Als eines der vielen erfreulichen Symptome gegenseitiger Beziehung und Durchdringung von Philosophie und Naturforschung möge hier die kleine Schrift von MAX HARTMANN über Biologie und Philosophie genannt werden. Dieser Naturforscher hat sich vor der gefährlichen Erkenntnistheorie so wenig bange machen lassen, daß er seinen Ausführungen geradezu eine kurze erkenntnistheoretische Grundlegung voranschickt. Und der Philosoph kann zu seiner Freude konstatieren, daß dieser Naturforscher von der erkenntnistheoretischen Fragestellung der kritischen Philosophie mehr begriffen hat als mancher, der sich auch heute noch für einen Philosophen hält. Die erkenntnistheoretisch grundlegende Bedeutung der Kategorien für die Naturforschung wird scharf erfaßt, unter diesen besonders die der Kausalität in ihrem funktionalen Charakter klar herausgestellt, und in methodisch sicherer Bestimmtheit werden die beiden Grundformen der Induktion entwickelt.

Von diesen Grundlagen aus kann der Verfasser sodann das Problem von Kausalität und Zweckmäßigkeit in der Biologie in Angriff nehmen. Zwar bedürfte gerade nach seiner richtigen Stellung zum Kategorienproblem seine Stellung zum sog. „Irrationalen" einer Berichtigung, die ich im Zusammenhange dieser kurzen Besprechung nicht geben kann[1]). Aber da er dieses Problem hier nur berührt, um an ihm seine eigentliche Aufgabe abzugrenzen, werden die folgenden Ausführungen dadurch kaum beeinträchtigt. In sehr beachtenswerter Weise kann dann das Verhältnis der Kausalität zur kontinuierlichen Erhaltung der Organismen durch Fortpflanzung und zur tierischen Handlung dargelegt werden. Die „Zweckmäßigkeit" des Organischen wird, im Sinne KANTS und sachlich richtig, als ein heuristisch-regulatives, nicht als konstitutives Prinzip der Biologie begriffen, und es wird erkannt, daß die teleologische Beurteilung gerade dazu führen kann, die kausalen Voraussetzungen zu suchen und zu finden (daher wird die Teleologie eben lediglich als „heuristisch" bezeichnet) und so im Fortgange der Forschung Zweckbegriffe durch Kausalbegriffe gerade zu ersetzen.

Damit sind wir vor das nächste Hauptproblem gestellt, das man kurz als die „Mechanismus-Vitalismus-Frage" zu bezeichnen pflegt. Die verschiedenen Arten des Vitalismus, die den Zweck als konstitutives Prinzip, in der Form eines zwecktätigen Agens, in die Biologie einführen, sind bereits durch die Ausführungen des vorigen Kapitels erledigt. Durch DRIESCH aber hat der Vitalismus eine wirklich originale Neubildung erfahren. Und diese ist es, mit der sich HARTMANN auseinandersetzt. Überall tritt deutlich hervor, wie sehr viel höher HARTMANN den DRIESCHschen Vitalismus stellt, als alle anderen vitalistischen Bestrebungen; und zwar mit Recht. Und doch muß nach HARTMANN auch der Vitalismus in der Fassung von DRIESCH abgelehnt werden. Die Gründe, die HARTMANN anführt, halte ich in der Hauptsache selbst für zwingend, bis auf das hier nun doch auftretende Rekurrieren auf das „Irrationale". Nun folgt ein Exkurs über KANTS Stellung zum Teleologie-Problem. Nach des Verfassers ausdrücklicher Erklärung ist er mit mir darin einig, in KANT einen Vertreter des „Mechanismus" in der Biologie in Anspruch zu nehmen. Freilich seine Charakteristik der „objektiven Zweckmäßigkeit" bei KANT (als „unglückseligen Begriff") halte ich darum für verfehlt, weil diese ja gar nicht von bloß biologischer Bedeutung ist. Aber daß sich HARTMANN grundsätzlich über die „großen Leistungen KANTS für die Grundlegung der Biologie" im klaren ist, das will ich um so freudiger hervorheben, als es noch nicht allzu lange her ist, seit ich in einer Behandlung der geschichtlichen Entwicklung der Entwicklungslehre den Namen KANTS nicht einmal erwähnt fand.

Im dritten und letzten Teil wendet sich der Verfasser der Leib-Seelen-Frage zu. Es ist dabei sehr interessant zu bemerken, wie vorsichtig er, ohne zwar selbst eine positive Entscheidung zu treffen, sich sowohl der Wechselwirkungs- wie der Parallelismustheorie gegenüber verhält, von denen er klar sieht, daß keine von ihnen den wissenschaftlichen Forderungen genügen kann. Mag uns nun auch hier wiederum der Hinweis auf die Metaphysik des „Irrationalen" seinerseits nicht genügen können, so wird doch an der ganzen Stellung des Verfassers zu dem Problem deutlich, wie sehr er sich bewußt ist, daß die Psychologie von sich aus zu neuen Fragestellungen drängt, für die ich in diesem Zusammenhange hinweisen möchte auf RICHARD HÖNIGSWALDS Denkpsychologie und FELIX KRUEGERS Entwicklungspsychologie. Zum Schluß darf endlich noch hervorgehoben werden, wie sehr der wissenschaftliche Philosoph es mit besonderer Genugtuung begrüßen muß, daß hier die *biologistische* Modephilosophie, die unter dem Namen einer „Lebensphilosophie" sich heute breitmacht, auch von seiten der *Biologie* eine strikte Ablehnung erhält.

Alles in allem ist das kleine Schriftchen HARTMANNS über Biologie und Philosophie eine äußerst erfreuliche Erscheinung. Ich möchte es Biologen und Philosophen nur empfehlen, denn sie können es beide nur mit wissenschaftlichem Gewinn lesen.

BRUNO BAUCH, Jena.

GRAEBNER, P., **Die Heide Norddeutschlands und die sich anschließenden Formationen in biologischer Betrachtung.** Bd. V. Von ENGLER-DRUDE, **Die Vegetation der Erde.** 2. Aufl. Leipzig: W. Engelmann 1925. XXIV, 277 S., 78 Abb. und 1 Karte. 17 × 25 cm. Preis geh. 20, geb. 23 Goldmark.

Die jetzt vorliegende 2. Auflage dieses Buches ist

[1]) Dafür darf ich vielleicht auf mein Buch über „Wahrheit, Wert und Wirklichkeit" S. 367 ff. und meine kleinere Schrift über „Das Naturgesetz" S. 56 ff. verweisen.

gegenüber der schon 1901 erschienenen 1. Auflage wesentlich verändert, sie stellt im allgemeinen eine Verschmelzung der ersten Auflage mit dem „Handbuch der Heidekultur" desselben Verfassers dar. Der allgemeine Teil ist gegenüber früher vielfach erweitert, das wichtige Problem der Aufforstung wird von den Forstfachleuten v. Bentheim und Erdmann erörtert, und ein Kapitel über die Krankheiten der Kulturpflanzen in der Heide ist ganz neu hinzugekommen. Demgegenüber ist die spezielle Gliederung der Heideformationen durch Streichung der langen Pflanzenlisten der 1. Auflage stark gekürzt und leicht lesbar gemacht; zahlreiche klare Abbildungen der typischen Pflanzenarten ermöglichen auch dem Nicht-Botaniker ein gutes Verständnis. So wendet sich das Buch jetzt an einen weiten Leserkreis: Nicht nur der Botaniker, auch jeder Forstmann, jeder Landwirt im Heidegebiet und jeder naturfreudige Wanderer in der Heide wird es mit gerade so großem Gewinn wie Vergnügen lesen: Denn der Verfasser verfügt über einen unerreichten Schatz von persönlichen Beobachtungen und Erfahrungen und weiß seinen Stoff in interessantester Weise darzustellen. *Eine* Beanstandung wird der Fachbotaniker allerdings nicht unterdrücken können: Die zahlreichen wichtigen neueren Arbeiten über die Physiologie der Heidepflanzen, über die „physiologische Trockenheit" des Moorbodens, über die Wasserstoffionenkonzentration im Erdboden usw. sind im Text so gut wie nicht berücksichtigt und das Buch ist in *dieser* Hinsicht kaum über den Stand von 1901 hinausgekommen. Doch wiegt diese Beanstandung nicht schwer, weil der Verfasser schon 1901 mit großem Scharfsinn die Vegetationsbedingungen und die physiologische Eigenart der Heidepflanzen in ihren wesentlichen Punkten richtig erkannt und dargestellt hat.

O. Stocker, Bremerhaven.

KÜSTER, E., **Pathologische Pflanzenanatomie, in ihren Grundzügen dargestellt.** Dritte, neubearbeitete Auflage. Jena: G. Fischer 1925. XII, 558 S. u. 285 Abbildungen. 16×24 cm. Preis geh. 24, geb. 26 Goldmark.

Das Werk, das nunmehr in dritter Auflage vorliegt, hat sich wohl bereits einen festen Platz in jeder botanischen Handbibliothek erobert. Hat die erste Auflage noch tastend versucht, die richtige Disposition des ebenso umfangreichen als spröden Stoffes zu finden, so hat bereits die zweite, 1916 erschienene Auflage den entsprechenden Rahmen festgelegt, der es gestattet, das in steter Zunahme begriffene Tatsachenmaterial zu meistern. Wie reichlich die Quelle neuer Ergebnisse fließt, ergibt sich schon daraus, daß trotz vorbildlich knapper Darstellung jede Auflage ihre Vorgängerin um gute hundert Seiten übertrifft. Auch die Zahl der Textabbildungen wurde neuerlich beträchtlich vermehrt, unter anderem durch 2 farbige Abbildungen von Panaschierungen. Bei der Fülle des Tatsachenmaterials, das in dem Buche zusammengetragen ist, kann sich ein Referat nur darauf beschränken, eine knappe Inhaltsübersicht zu geben. Der erste, spezielle Teil des Werkes behandelt die wichtigsten und in der Natur verbreitetsten Krankheitsbilder der Pflanzen, sofern sie anatomisch zum Ausdrucke kommen, also die pathologischen Zell- und Gewebeformen und deren Ontogenese. Die Darstellung beginnt mit dem mit besonderer Liebe behandelten Kapitel über Panaschierung, an das sich die Erscheinungen des Etiolements, die hyperhydrischen Gewebe, Wundgewebe und Regeneration sowie die mannigfaltigen Gallenbildungen anschließen. Der allgemeine Teil ist der Darstellung der Histogenese der pathologischen Gewebe, ihrer Entwicklungsmechanik und Ökologie gewidmet und nimmt Gelegenheit, noch zahlreiche anomale Strukturen in die Darstellung einzubeziehen, die experimentell hervorgerufen werden können. Ein Vergleich mit der vorhergehenden Auflage zeigt, daß allerorten die vorliegenden neueren Untersuchungen eine weitgehende Berücksichtigung erfahren haben, was vielfach zu einer wesentlichen Erweiterung oder völligen Umarbeitung einzelner Kapitel führte. Der Leser mag wohl an manchen Stellen bedauern, daß die eine oder die andere Frage eine allzu knappe Darstellung gefunden hat, angesichts der erdrückenden Fülle von Einzeltatsachen wird man aber dem Autor die Anerkennung weiser Beschränkung nicht versagen können, die um so mehr am Platze ist, als sich das Buch von vornherein die Darstellung der „Grundzüge" zur Aufgabe gesetzt hat. Wer sich über ein Problem eingehender zu informieren wünscht, dem dienen die in die Tausende gehenden Literaturnachweise zum sicheren Führer. Wenn ich für eine folgende Auflage *einem* Wunsche Ausdruck geben darf, so wäre es der, daß der Pathologie der Zelle, insbesondere des Protoplasten, ein besonderer Abschnitt gewidmet würde. Der Verf. schließt zwar einleitend ein solches Kapitel von vornherein aus, zumal eine zusammenfassende Behandlung der pathologischen Struktur des Kernes, des Cytoplasmas usw. nach dem Stande unserer Kenntnisse verfrüht wäre; da er sich aber doch veranlaßt sieht, die selbst gesetzte Grenze zu überschreiten und manche zellpathologischen Tatsachen zu behandeln, wie Plasmaverfestigung und -degeneration, Amitose, Schwellungen der Kerne u. a., so könnten auch andere Erscheinungen Erwähnung finden, wie das bedeutungsvolle Auftreten abnormer Mitosen (z. B. unter der Einwirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen), Zustandsänderungen des Plasmas und manches andere. Sind unsere Kenntnisse auf diesem Gebiete noch dürftig, so wäre doch ihre Zusammenfassung dankenswert und anregend, da die Cellularpathologie doch eines der Fundamente der Pathologie zu bilden berufen ist. Und Anregungen zu planmäßiger weiterer Forschung zu geben, ist ein wesentliches Verdienst des vorliegenden Werkes, das insbesondere auch den auf dem Gebiete der Entwicklungsmechanik arbeitenden Zoologen und Humanpathologen eindringlichst empfohlen sei.

K. Linsbauer, Graz.

HABERLANDT, G., **Physiologische Pflanzenanatomie.** 6. Aufl. Leipzig: W. Engelmann 1924. XVII, 671 S. u. 295 Abb. 17×25 cm. Preis geh. 19, geb. 22 Goldmark.

Die Tatsache, daß es die 6. Auflage ist, die vor uns liegt, zeugt für den unbestrittenen Platz, den sich dieses Buch und damit zugleich diese Betrachtungsweise der Pflanzenanatomie erobert hat. Und wenn 40 Jahre zwischen der ersten und sechsten Auflage verstrichen sind, so trägt das Buch die Zeichen dieses Zeitraumes, der kühne Wurf der ersten Konzeption ist geblieben, aber die sorgsame Feile vierzigjähriger Forscherarbeit ist überall zu erkennen und läßt uns manche Fragen heute gelöst erscheinen, die zunächst nur kühn in Angriff genommen waren, manche Streitfrage entschieden sehen, die lange Zeit Gegenstand heißer Kämpfe war. Daß trotzdem der angesammelte Stoff das Buch nicht überlastet, verdanken wir der auswählenden Hand des Verf., der uns das Buch jetzt als reifes Kunstwerk übergibt, das als bahnbrechendes Werk zuerst erschien.

Die einzige Lücke, dessen sich der Verf. selbst bewußt ist und die wir alle mit ihm bedauern, bleibt in dem Fehlen der phys. Anatomie der Fortpflanzungsorgane. Wir beklagen es mit ihm, daß die Ungunst der letzten Jahre die Arbeit hemmten und nicht den Entschluß ermöglichten, auch diesen letzten Punkt dem Gebäude anzugliedern.

Schließlich möchte Ref. vor allem aber die Worte unterstreichen, die HABERLANDT der entwicklungsphysiologischen Pflanzenanatomie widmet. Der Umstand, daß der Zeitpunkt noch nicht gekommen erscheint, sie hier einzugliedern, mag ein Ansporn sein, gerade dieses Gebiet intensiver in Angriff zu nehmen als bisher. Gerade die Erforschung der Entwicklungsphysiologie der Pflanzenkörper wird uns erst voll verstehen lehren, daß überhaupt eine physiologische Behandlung der Anatomie möglich war und erst die volle Bedeutung dieser Einstellung in ihrer heuristischen Wirkung vor Augen führen. Daß der Verf. sich nicht entschließen kann, uns auch hier als Führer zu leiten, werden wir alle besonders bedauern. FRITZ VON WETTSTEIN, Göttingen.

Biologische Mitteilungen.

Über die Formwahrnehmung beim Hunde. (F. J. J. BUYTENDYK, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **205**, H. 1/2, S. 4—14. 1924.) Wie schon oft ausgeführt, stellt das Wiedererkennen von Objekten nach dem optischen Bilde größere psychische Anforderungen als mittels des chemischen Sinnes; die Geruchsqualität einer Katze z. B. für den Hund als Subjekt bleibt wohl stets in wesentlichen Stücken die gleiche, während sich ihre optischen Merkmale mit dem Bewegungszustand von Katze und Hund, der Beleuchtung, der Entfernung beider, der projizierenden Blickrichtung des Hundes und vielen weiteren Begleitumständen nicht unerheblich verändern. Verf. sucht die Frage nach dem Formwahrnehmungsvermögen des Hundes, als eines geruchlich besonders begabten Tieres, experimentell zu lösen.

Die erste Versuchsreihe fand im multiplen Wahlapparat statt. Gegen eine fächerförmige Arena öffnet sich auf der spitzen Seite der Hundekäfig, auf der kreisbogenförmigen gegenüberliegenden Seite münden 11 äquidistante, völlig gleichartige Kästen, deren Klappfalltüren sämtlich vom Experimentator aus, ebenso wie der Käfig, geöffnet und geschlossen werden können, ohne daß der Hund von den erforderlichen Manipulationen etwas merkt. Verf. benützte nur 5 nebeneinander liegende von den 11 vorhandenen Kästen. Auf einer der Kastentüren wurde ein Dreieck von 9 cm Seitenlänge, mit 3 mm dicken Tuschelinien auf weißem Karton gezeichnet, mit der Spitze nach oben angebracht; hinter ihr befand sich Futter (Keks). Ging der Hund auf die so bezeichnete Klappe los, so öffnete sie sich, während die unbezeichneten Klappen geschlossen blieben. Bald lernte der Hund, die bezeichnete Tür selbst zu öffnen, die unbezeichneten aber nicht zu beachten. Jetzt (vom 15. Versuch an) brachte Verf. auch an den übrigen Klappen Figuren an, nämlich Dreiecke mit der Spitze nach unten oder nach der Seite, mit breiter oder mit schmaler Basis, ferner Quadrate, Fünf- und Sechsecke sowie Kreise, alle in der gleichen Technik und Größenordnung. Natürlich wechselten alle Scheiben von Versuch zu Versuch den Platz und wurden häufig erneuert. — Vom 52. Versuch an tat der Hund nur noch richtige Wahlen bis zum letzten 102., die Dressur auf das Dreieck mit der Spitze aufwärts war gelungen. Fehlte die Dressurfigur unter den anderen, so wählte der Hund nicht, sondern kehrte nach gewohntem Abschreiten der Klappenfront in etwa 30 cm Abstand von ihr zum Käfig zurück, ohne eine der Klappen berührt zu haben. Der Erfolg blieb bestehen, als eine neue Dreiecksserie von 7 cm Seitenlänge dargeboten wurde, ebenso auch bei einer dritten Serie von $3^1/_2$ cm Seitenlänge. Während aber das umgekehrte Dreieck der 7-cm-Serie (Spitze nach unten) bei Fehlen des Dressurdreiecks ebenso gemieden wurde, wie bei dem Ausgangsformat, so wählte der Hund plötzlich bei der $3^1/_2$-cm-Serie bei Fehlen des aufrechten Dreieckchens das umgekehrte; als dann weiterhin wieder die großen Figuren folgten, wie zu Anfang, machte der Hund den ursprünglichen Unterschied zwischen dem Dressurdreieck und den übrigen Dreiecken nicht mehr, d. h. er wählte, wenn das Dressurdreieck fehlte, jedes andere vorhandene Dreieck, gleichgültig wohin seine Spitze wies und ob es eine im Verhältnis zu den anderen Seiten gleich lange oder breitere oder schmälere Basis hatte. Kurz, der Hund verhielt sich jetzt so, als ob ihm endlich der allgemeine Begriff des Dreiecks aufgegangen wäre (*sensorische Begriffsbildung*). — In einer weiteren Versuchsreihe war der Hund gefesselt; vor seinen Augen befand sich ein weißer Schirm, auf den die Reizfiguren projiziert wurden, darunter eine Klappe, die er mit der Schnauze aufstoßen konnte, um zu Futter zu gelangen, falls sie nicht durch elektromagnetisch betätigte Riegel verschlossen war. Hier gelang nun die Dressur auf ein unbewegtes Dreieck *nicht* (über 1000 Versuche in 5 Monaten). Dabei assoziierte der Hund äußerst leicht gewisse Nebengeräusche; nach Ausschaltung derselben hielt er sich an kleine Bewegungen des Experimentators, aber auch nachdem diese der Aufmerksamkeit des Tieres entzogen waren, kam keine Dressur zustande. Endlich aber ließ man die Projektionsbilder allmählich auf dem Schirme erscheinen, während sie vorher als Ganzes sichtbar wurden, indem erst nach Einsetzen des Filmes die Lichtquelle eingeschaltet worden war, und jetzt gelang schon nach 20 Versuchen die Unterscheidung des bewegten Dreiecks von bewegten Kreisen und Quadraten. Die eben im Gesichtsfelde erscheinende Dreiecksspitze genügte allein, ebenso wie auch der Schatten einer Fingerspitze auf dem Projektionsschirme, um die Reaktion auszulösen.

Der freibewegliche Hund vermag also die stets ruhend dargebotene Form des Dreiecks zu identifizieren, der gefesselte dagegen offenbar nicht, während er wenigstens bewegte Dreiecke erkennt und ihrer Form nach sich merkt. „Die Bewegung auf den optischen Eindruck hin bildet ein integrierendes Moment in der Melodie der Umwelt, wodurch auch die Form der Gegenstände in der Innenwelt zum Erklingen gebracht wird" (v. UEXKÜLL).

Die Rolle des Gesichts-, Geruchs- und Erschütterungssinnes für den Nahrungserwerb von Triton. (ERNST MATTHES, Biol. Zentralbl. **44**, H. 1/2, S. 72—87. 1924.) Bei seinen Untersuchungen über den Geruchssinn von Triton im Wasser und am Lande war es unvermeidlich, auch auf die sonstigen Sinnesreize einzugehen, die den Molch zur Nahrung hinführen können, und ihr Zusammenarbeiten unter normalen Verhältnissen zu analysieren. Neben dem bereits genau untersuchten Geruchssinn spielt auch der „Erschütterungssinn" sowie der Gesichtssinn eine Rolle.

Wenn man in der Nähe eines geblendeten Molches das Wasser durch schnelles, zitterndes Hinbewegen eines Glasstäbchens in leise Erschütterungen versetzt, ähnlich denen, die von einem kleinen Beutetier des Molches ausgehen mögen, so werden die Molche aus ihrer Ruhe aufgestört; sie nähern die Schnauzenspitze durch gut gezielte Bewegungen soweit als möglich dem Erschütterungszentrum, ja sie können veranlaßt werden, dem zitternd fortgezogenen Stäbchen durch das ganze Aquarium hindurch zu folgen, ähnlich wie man die bekannten magnetisierten Spielzeugfischchen mittels des Magneten durchs Wasser lenken kann. In

allernächster Nähe des Erschütterungszentrums schnappt das Tier auch zu. Für sich allein vermag der *Erschütterungssinn* also sowohl *alarmierend* wie auch *leitend* zu wirken und endlich den Schnappreflex auszulösen. — Auch der *Gesichtssinn* allein kann alarmieren und leiten: Bedeckt man einen auf den trockenen Aquariumsboden gelegten Wurm mit einem Glasschälchen, dessen Ränder gut festgewachst werden, und richtet nun das Aquarium für den Molch ein, so werden jetzt weder chemische noch Erschütterungsreize von dem Wurme ausgehen können. Dennoch gerät der Molch in Erregung sobald der Wurm in seine Blickrichtung kommt, fährt gut gezielt darauf los und schnappt auch ins Glas hinein. Bewegungslosen Objekten gegenüber aber versagt das Auge sowohl als Alarm- wie auch als Leitorgan: Solange ein gut ausgekochter, also chemisch indifferenter Wurm bewegt wird (auch hinter einer die Erschütterungen abfangenden Glaswand), geht der Molch darauf los; sowie aber die Bewegung des Objektes aussetzt, verliert er sogleich das Interesse daran, selbst wenn es sich eben noch bewegte. Ja sogar bei gleichzeitiger Geruchsreizung vermag das Auge nicht, den (infolge der Geruchsreizung) eifrig herumsuchenden Molch gezielt zum unbewegten Futter hinzugeleiten. Er ist offenbar auf reines Bewegungssehen eingestellt. — Der *Geruchsinn* endlich, über den des genaueren an den angeführten Stellen nachzulesen ist, vermag für sich allein ebenfalls sowohl zu alarmieren als auch zu leiten und den Schnappreflex auszulösen. Doch sind die nur von ihm ausgelösten Suchbewegungen nicht in dem Sinne zielmäßig gerichtet wie bei den beiden beschriebenen Sinnen. Der nur geruchlich orientierte Molch „findet seine Beute nur, wenn er durch Zufall darauf stößt; aber die Art seiner Suchbewegungen" (Umkehr bei starker Verringerung der Konzentration des Riechstoffs, Zuschnappen bei maximaler Stärke desselben, nämlich in einigen Millimetern Entfernung) „gewährleistet diesen Zufall". — Ein *Geschmackssinn* scheint völlig zu fehlen; Watte, ja selbst stark mit Chinin bepulverte, ausgekochte Wurmstückchen wurden anstandslos gefressen. Auch dem *Tastsinn* dürfte keine Bedeutung beim Nahrungserwerb zukommen. — Ein *Erkennen* der Beute findet nur mittels des Geruchssinnes statt, sicher nicht durch das Gesicht. Bei langsam bewegten Objekten nimmt der Molch kurz vor dem Zuschnappen eine *Geruchsprobe* vor, schnappt aber oft auch dann zu, wenn sie negativ ausfiel; bei schnell oder zitternd bewegten Objekten fällt sie zumeist ganz fort.

Jeder der drei Sinne (Geruch, Gesicht, Erschütterungssinn) vermag also für sich allein zur Nahrungsaufnahme zu führen. Unbewegten Objekten gegenüber kommt allein der Geruchssinn in Betracht. In der Natur spielt wohl der Gesichtssinn die Hauptrolle, da der Molch fast ausschließlich lebende Tiere mit Eigenbewegungen frißt. Der Geruchssinn spricht unbewegter Beute gegenüber allein an, bei zeitweise bewegter hilft er nicht unwesentlich mit, indem er in den Pausen der Unbeweglichkeit, wo das Auge versagt, das Tier verhindert, den Diffusionskreis zu verlassen und bei zufälliger großer Annäherung an das Objekt das Zuschnappen veranlaßt. Der Erschütterungssinn endlich dürfte in der Natur von ganz untergeordneter Bedeutung sein, da sein Wirkungsbereich kaum über 1 cm hinausgeht (starke Erschütterungen, die auf weitere Entfernungen hin wahrgenommen werden, verscheuchen den Molch); auf so nahe Distanzen aber ist das Auge der zuverlässigste Führer.

Chemischer Sinn und Nahrungserwerb bei Nereis virens. (Manton Copeland and H. L. Wieman, Biol. bull. 47, Nr. 4, S. 231—238. 1924.) Der polychäte Wurm Nereis virens bewohnt bei Woods Hole mit Schleim ausgekleidete Röhren im Sande des Flachwassers. Wurden nun Stückchen von Muschel-, Krabben- oder Fischfleisch auf den Sand gelegt, so kamen die Würmer sehr bald aus den benachbarten Löchern hervor, streckten das Vorderende gut gerichtet zum Nahrungsbrocken hin, während das Schwanzende stets in der Röhre blieb, und wenn sie den Brocken so erreichen konnten, packten sie ihn und zogen ihn mittels einer kräftigen Körperkontraktion mit in die Wohnröhre hinab. Von zwei gleich aussehenden Säckchen mit einem Stein bzw. mit Fleisch darin packten sie stets nur das Fleisch enthaltende. Wenn man Steine und sonstige nichtfreßbare Körper auf den Sand fallen ließ, so blieben sie in ihren Löchern. Somit muß ein chemischer Sinn die Alarmierung bewirkt haben. Ferner vermag er aber auch die Bewegungen des chemisch alarmierten Tieres zu richten. Wie schon gesagt, bewegt es den Vorderkörper recht gut gezielt auf den Nahrungsbrocken hin; ist das Fleisch nicht in Reichweite, so kehrt der Wurm unverrichteter Sache ins Loch zurück, um nach einiger Zeit in größerer Nähe des Nahrungsbrockens wieder aufzutauchen; er hat also im Sande in der richtigen Richtung vorangebohrt. Die schon etwas gewagte Annahme, er vermöchte das, indem er sich die Richtung merke, in der er die Nahrung vorher habe liegen sehen, wird durch die Tatsache widerlegt, daß das Tier es geradeso macht, wenn statt des sichtbaren Fleischstückes flüssiger Fleischsaft auf eine bestimmte Stelle der Sandoberfläche getropft wird; auch dann bohrt es gegen das Diffusionszentrum zu. — In seinen Röhren führt der Wurm ständig wellenförmig pendelnde Atembewegungen aus, die frisches Wasser in die Röhre hineinsaugen; so wird es verständlich, daß die Alarmierung durch chemische Reize nur kurze Zeit beansprucht. Die Würmer gingen ganz von selbst in dargebotene Glasröhren hinein (starke Stereotaxis), die sie sich durch Schleimausscheidung wohnlich machten. Wasserströme vor ihrer Öffnung beunruhigten sie nicht, Fleischsaft aber lockte sie sogleich halb heraus, wobei jetzt natürlich alle Bewegungen auch in der Röhre sichtbar waren. So hofft Verf. auch bald Angaben über die Lokalisation der Chemoreceptoren machen zu können; Versuche in dieser Richtung sind im Gange.

Das Zielen bei Tieren (Versuche mit Hühnern). (D. Katz und H. H. Keller, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg., Abt. I: Zeitschr. f. Psychol. 95, H. 1/2, S. 27—35. 1924.) Hungrige Hühner wurden einzeln vor eine 10 cm über dem Tisch horizontal angebrachte Drehscheibe gesetzt, auf deren Rand Reiskörner ziemlich dicht aufgestreut waren. Bei stillstehender Scheibe pickt das Huhn etwa 4mal in der Sekunde. Wird die Scheibe gedreht, so daß nun die Körner mit einer Geschwindigkeit von 13 cm/sek. am Huhn vorbeiwandern, so pickt es noch fast ebensooft; bei 33 cm/sek. pickt es 1,8mal in der Sekunde, bei 66 cm/sek. pickt es nur einmal erfolgreich, dann nicht mehr, und bei 77 cm/sek. und darüber hinaus pickte es nie, sondern verlor sehr bald das Interesse an der Scheibe. Fast jedes Picken ist erfolgreich, so daß also angenommen werden darf, daß das Huhn nie ungezielt in den Körnerhaufen aufs Geratewohl hineinpickt, sondern vielmehr nur dann, wenn es genügend zu zielen imstande war. Stets bevorzugte das Huhn die am meisten zentral gelegenen Körner, die also am langsamsten vorbeiwanderten, mit anderen Worten, es suchte sich stets die jeweils leichteste Aufgabe aus. — Eine weitere Erschwerung des Zielens bestand in der Einengung des Gesichtsfeldes durch eine vor das Rad gesetzte Pappscheibe mit einem quadratischen Ausschnitt von 15 cm Seitenlänge. So ist das Feld des peripherischen Sehens erheblich verkleinert, die Strecke, auf der das

vorbeilaufende Korn erzielt werden kann, ist verkürzt. Jetzt leistet das Huhn bedeutend weniger als ohne die Blende, was sich in einer weiteren Erniedrigung der Pickzahl pro Sekunde bei gleicher Drehungsgeschwindigkeit zu erkennen gibt. Ferner pickt es stets an der linken Grenze des Ausschnitts, in den die Körner von rechts her eintreten; so verschafft es sich die maximale Zielzeit sowie die Möglichkeit, vorzuhalten. — In weiteren Versuchen befindet sich das Rad unmittelbar unter dem Boden des Versuchskäfigs, der über dem Radrande einen ringsektorförmigen Ausschnitt von durchschnittlich 45 cm Länge (konzentrisch mit dem Radrand) und 15 cm Breite (in radialer Richtung des Rades) trägt. Auch hier steigt die Leistung mit der Länge der verfügbaren Zielzeit. Bei gleicher Drehgeschwindigkeit sind die Leistungen am besten, wenn das Huhn vor der Längsscheite des Ausschnitts steht und zum Radzentrum hinblickt, so daß also die Körner quer vor ihm vorbeilaufen. Steht es vor der linken Schmalseite und blickt in tangentialer Richtung, so daß ihm jetzt die Körner entgegenlaufen, so verringert sich die Leistung nochmals auf etwa $^1/_3$, steht es aber endlich vor der rechten Schmalseite, so daß die Körner vor ihm weglaufen, so zeigt es sich völlig ratlos und pickt überhaupt nicht. Die Fixation der Körner war gewöhnlich binokular, bei erschwerten Bedingungen aber auch einseitig bei schräger Kopfhaltung; im letzteren Falle soll etwas lebhafter gepickt werden als im ersteren. War die Raddrehung zu schnell, so fing das Huhn oft zu scharren an und gab dazu „ärgerliche und ungeduldige Laute" von sich. Offenbar wird der Scharreflex durch die Gesamtsituation „schwer erreichbares Futter" ausgelöst. — Menschliche Versuchspersonen, die mit einem eingetauchten Pinsel schwarze Punkte nahe dem Radrande treffen sollten, verhielten sich unter gleichen Bedingungen den Hühnern recht ähnlich. Auch sie zielten bei langsamer Drehung gut, bei rascher schlechter, hielten vor, bevorzugten den linken Rand des Ausschnitts, wenn die Punkte von rechts her eintraten, und klagten bei zu rascher Drehung über ein höchst peinliches Gefühl der Unentschiedenheit, welchen der vielen erscheinenden Punkte sie aufs Korn nehmen sollten; diese Unentschiedenheit halte sie von der rasch zu treffenden Wahl eines bestimmten Punktes ab. — Eine psychologische Deutung wird vorerst zurückgestellt, eine sinnes- und reflexphysiologische lag nicht im Sinne der Untersucher. Bemerkenswert ist in dieser Hinsicht die kurze Angabe, daß der bei mittlerer Drehgeschwindigkeit deutlich bemerkbare Nystagmus (ruckweise, nicht etwa kontinuierliche Bewegungen beim Verfolgen der Körner) ein reiner Kopfnystagmus, bei feststehenden Augäpfeln sein soll.

Untersuchungen der tierischen Triebe. (Fred A. Moss, Journ. of exp. psychol. 7, Nr. 3, S. 165—185. 1924.) Das Verhalten der Tiere wird bestimmt durch *Triebe* zur Handlung (drives) und *Hemmungen*, die sie von der Ausführung der Handlung zurückhalten (resistances). Es war die Absicht des Verf.s, die Stärke verschiedener Triebe und Hemmungen gegeneinander abzuwägen. — Ein langer Rattenkasten enthält drei hintereinanderliegende Zimmer mit durchgehenden Türen. Im ersten, A, sind die Ratten, das zweite, B, trägt am Fußboden zwei elektrisch geladene Messingplatten, das dritte, C, enthält Nahrung, so daß das Tier, um zum Futter zu gelangen, den Weg über die Platten nehmen muß und einen elektrischen Schlag erhält. Ein einziger Schlag von 90 Volt genügt, um dem bisher unerfahrenen Tier eine unüberwindliche Scheu vor den Platten beizubringen. In den folgenden Versuchen sind die unerfahrenen Ratten stets zweimal von den niedriger aufgeladenen Platten geschlagen worden und kennen diese bei Versuchsbeginn zur Genüge. — Zuerst wird die Stärke des *Hunger*triebes untersucht. Von je vier Ratten wagt sich nach 12stündigem Hungern keine einzige auf die Platten, nach 24 Stunden eine, nach 48 Stunden 3, nach 72 Stunden endlich gehen alle vier Ratten über die Platten zum Futter hin. 72stündiger Hunger überwindet also die von den als schlagend bekannten Platten (20 Volt) ausgehende Hemmung unter allen Umständen. — 2. *Geschlechtstrieb*. Auf die Auswahl vergleichbarer Tiere (möglichst Wurfgeschwister, gleiche Nahrung usw.) wurde genau geachtet. Der Weg geht immer nur von A über B nach C. Saßen in C brünstige Weibchen, in A Männchen, so gingen von 5 Männchen nur 2 über die Platten (28 Volt). Waren umgekehrt die Weibchen in A, die Männchen in C, so wagten sich 3 von ebenfalls 5 Weibchen über die Platten zu den Männchen. Unter sonst gleichen Bedingungen hatten von 10 eben dieser hier verwandten Tiere 8 nach 72stündigem Hunger sich über die Platten zum Futter begeben. An dem Anreiz zur Überwindung der Schlaghemmung gemessen, ist also der Geschlechtstrieb weniger kräftig als der Hunger, und die Männchen sind weniger entschlossen als die Weibchen, Kopulationshindernisse zu überwinden. Um Geschlechtstrieb und Hunger unmittelbar gegeneinander abzuwägen, wurde die Schlagplatte in B entfernt, in A Futter in C ein brünstiges Weibchen geboten und in B Männchen eingesetzt, die Gelegenheit gehabt hatten zu lernen, daß sie beim Verlassen von B in dem gewählten Abteil A oder C jeweils eine Stunde eingesperrt blieben. Von 5 Männchen, die seit 72 Stunden hungerten, wählte nur 1 das Abteil C mit dem Weibchen, alle übrigen gingen zum Futter. — Standen die Ratten in A in Wasser, während in 3 keines, aber auch keine Belohnung war, so gingen von 10 Ratten bei einer Wassertemperatur von 25—20° keine, bei 19—10° 2, bei 9—5° 5, bei 4—1° 2 Tiere über die Platten mit 12 Volt nach C. Sie wählten also „von zwei Übeln das kleinere". War außerdem in C Futter und die Tiere hatten 12 Stunden gehungert, so daß also der Hunger allein sie noch nicht über die mit 28 Volt geladenen Platten trieb, so konnte kaltes Wasser in A die Schrecken der Platten überwinden helfen. Die den obigen Temperaturen entsprechenden Zahlen waren hier 0, 6, 2, 2, d. h. die Platten wurden bereits bei weniger tiefen Temperaturen beschritten, wenn jenseits der Platten Futter wartete. — Bei Wiederholungen dieses Versuches brauchte die Wassertemperatur immer weniger zu sinken, um die Tiere über die Platten zu treiben; mag es sich dabei um einen Vorgang ähnlich dem bei den Prügelkindern handeln, wo die Schläge mit der Gewohnheit an Schrecklichkeit verlieren, oder mag das Tier in der Antezipation des schlimmeren Übels, der Kälte, Fortschritte machen (Ref.). — Weiter wurde gutgefütterten Ratten zwischen ihre Nahrung Käse auf die schlagende Platte gelegt. Nach 8 Tagen rührte keine der Ratten mehr den jetzt ungeschützt daliegenden Käse an, und die Dressur erhielt sich 1 Woche lang. Endlich wurde untersucht, ob Hunger, Geschlechtstrieb oder Strafen ein rascheres, sicheres und länger vorhaltendes Lernen ermögliche. Es befand sich nämlich in der Endkammer eines Labyrinths entweder Futter, und die Tiere hatten gehungert, oder für gutgenährte Männchen ein brünstiges Weibchen, oder es war endlich das ganze Labyrinth mit gestoßenem Eise belegt und nur die Endkammer davon frei. Nach 30 Tagen wurden die Dressurversuche jeweils wiederholt. So zeigte es sich, daß Belohnungen beider Art besser als Strafen wirkten, und daß die durch den Coitus belohnten Tiere besser behielten als die durch Futter angelockten.

(Ber. üb. d. ges. Physiol. u. experim. Pharm.)

O. Koehler.

Astronomische Mitteilungen.

Zur Frage nach dem Ursprung der grünen Nordlichtlinie. Über das Problem des Nordlichtspektrums, das durch die interessanten Versuche von VEGARD in ein neues Stadium getreten ist, wurde in dieser Zeitschrift verschiedentlich berichtet, und VEGARD selbst hat das ganze Problem und den derzeitigen Stand der Forschung letzthin (Die Naturwissenschaften **13**, 541. 1925) in einem längeren Artikel ausführlich dargestellt. In diesem Bericht hat er auch Stellung genommen zu den Experimenten von MC LENNAN in Toronto, der gefunden hat, daß die grüne Bande des leuchtenden festen Stickstoffs, die VEGARD mit der grünen Nordlichtlinie ($\lambda = 5577{,}35$ Å.E. nach den interferometrischen Messungen von BABCOCK) identifiziert, aus drei Teilbanden besteht, von denen keine in der Wellenlänge mit der grünen Nordlichtlinie genau übereinstimmt. Während VEGARD diese mangelnde Übereinstimmung auf die im Laboratoriumsexperiment nicht völlig erreichte Nachahmung der kosmischen Verhältnisse zurückführt (vgl. l. c. S. 548), schließt MC LENNAN hieraus, daß diese Bande mit der grünen Nordlichtlinie nichts zu tun habe und sucht nach einer anderen Erklärung dieser Linie. In den Proc. of the roy. soc. **108**, 501. 1925 veröffentlichen nun MC LENNAN und SHRUM eine Arbeit über den Ursprung der grünen Nordlichtlinie, in der eine ganz andere Lösung des Problems vorgeschlagen wird. Sie prüfen die Frage, ob nicht der Sauerstoff für das Erscheinen der grünen Linie verantwortlich zu machen sei, und da sie von der Annahme ausgehen, daß in den oberen Atmosphärenschichten Helium in überwiegender Menge vorhanden sein müsse, so untersuchen sie Entladungen durch ein Gemisch von Helium und Sauerstoff. Die ersten Versuche werden in einem Entladungsrohr von etwa 10 m Länge und 2,5 cm Durchmesser ausgeführt in Gemischen von viel Helium und Spuren von Sauerstoff. Teile des Rohres wurden mit flüssiger Luft gekühlt, um Verunreinigungen zu beseitigen. Der Druck des He wurde verändert, und es zeigte sich, daß bei einem Druck des He von 30 mm Hg-Säule die von den He-Linien herrührende gelbe Farbe der Entladung in eine blaue, mit rosa vermischte Färbung umsprang, wenn Spuren von O_2 zugelassen wurden. Im Spektroskop erschien dann, abgesehen von anderen Linien, eine scharfe grüne Linie, deren Wellenlänge[1]) $\lambda = 5577{,}35$ erstaunlicherweise genau mit der der Nordlichtlinie übereinstimmt. Die Verfasser sind der Ansicht, in dieser Linie die wahre Nordlichtlinie vor sich zu haben und studieren nun das Auftreten derselben bei veränderten Entladungsbedingungen. Für die weiteren Versuche wurde ein kürzeres, 1 m langes Rohr benutzt. Es zeigte sich, daß die Linie 5577 am stärksten herauskam bei einem Druck des Heliums von 2—4 cm und des Sauerstoffs von 1—3 mm. In Gemischen von Helium und Stickstoff trat die grüne Linie nicht auf, dagegen konnten in Gemischen von O_2, N_2 und He sowohl die Linie 5577 wie auch die Stickstoffbanden erhalten werden, so daß das ganze Nordlichtspektrum in diesem Versuch im Laboratorium erzeugt wurde. Auch in Gemischen von Neon und Sauerstoff tritt die Linie 5577 auf.

Hieraus ist zu schließen, daß die Linie dem Sauerstoff zugehört und daß die Anwesenheit von Helium oder Neon nur erforderlich ist, um in der Entladung die für die Anregung der fraglichen Linie erforderlichen Bedingungen zu schaffen. Derartige Beobachtungen sind schon für andere Fälle, z. B. für Gemische von Wasserstoff und Helium sowie für Stickstoff und Helium insbesondere von MERTON und seinen Mitarbeitern gemacht worden. Die Ursache des Auftretens neuer Linien in solchen Gasgemischen ist einerseits darin zu suchen, daß, worauf insbesondere FRANCK hingewiesen hat, in solchen Gemischen die Elektronengeschwindigkeiten durch die relativ hohen Anregungsspannungen des Edelgases bestimmt sind, andererseits können, was auch von MC LENNAN und SHRUM für He diskutiert wird, die metastabilen Zustände der Edelgase das Auftreten neuer Linien durch sog. Stöße zweiter Art verursachen.

Man wird nun gern bereit sein, die überraschend genaue Wellenlängenübereinstimmung der neuen Linie mit der grünen Nordlichtlinie als starkes Argument für die Richtigkeit der von den Verfassern aufgestellten Behauptung zu bewerten. Es läßt sich aber nicht leugnen, daß dann aber doch noch wesentliche Schwierigkeiten bestehen bleiben, die vor allem in der mangelnden Übereinstimmung der im Laboratorium erhaltenen Spektren mit dem Nordlichtspektrum zu sehen sind. Die Spektrogramme von MC LENNAN und SHRUM enthalten nämlich außer der Linie 5577 sehr stark die Serienlinien des Helium- und Sauerstoffatomes. Wenn tatsächlich in den oberen Atmosphärenschichten He vorhanden ist, so bleibt schwer verständlich, weswegen nicht eine einzige He-Linie im Nordlichtspektrum auftritt. Das ist ja der Grund, weswegen VEGARD annimmt, daß überhaupt kein He in den Nordlichtzonen vorhanden sei. Die Annahme von MC LENNAN und SHRUM, die Intensität der He-Linien sei zu schwach, um beobachtet zu werden, scheint uns nicht stichhaltig, selbst wenn man, was selbverständlich ist, berücksichtigt, daß die Drucke in den oberen Atmosphärenschichten sehr viel kleiner sind als in den Laboratoriumsexperimenten. Aber auch wenn man annimmt, daß kein He in den oberen Atmosphärenschichten vorhanden ist, so müßte man, wenn die Anregungsbedingungen in der Nordlichtzone denen im Versuche von MC LENNAN und SHRUM nur angenähert vergleichbar sind, das Auftreten von Linien des Sauerstoffatomes im Nordlichtspektrum erwarten. MC LENNAN und SHRUM versuchen zwar die Sauerstofflinie $\lambda = 3468$ mit einer im Nordlichtspektrum auftretenden Linie zu identifizieren, jedoch bleibt diese Identifikation infolge der ungenauen Wellenlängenbestimmungen der Nordlichtlinien sehr unsicher. Andere Sauerstofflinien sind im Nordlichtspektrum nicht beobachtet worden.

Trotz der guten Wellenlängenübereinstimmung der von MC LENNAN und SHRUM gefundenen Linie mit der grünen Nordlichtlinie wird man der Behauptung der Verfasser erst dann restlos zustimmen können, wenn es ihnen gelingt, Spektren zu erzeugen, die in ihrem Gesamtcharakter eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit dem Nordlichtspektrum zeigen als die in der vorliegenden Arbeit reproduzierten. Diese Übereinstimmung im Gesamtcharakter der Spektren ist in den Versuchen von VEGARD in viel weiterem Umfange erreicht, aber hier wird man gerne wünschen, daß die Frage der Wellenlängenübereinstimmung der grünen Stickstoffbande mit der Nordlichtlinie noch weiter geklärt wird, als es bisher gelungen ist. Die endgültige Entscheidung zwischen beiden Hypothesen können wohl nur neue Experimente und Beobachtungen geben.

W. GROTRIAN.

[1]) Merkwürdigerweise wird als maximal möglicher Fehler der Wellenlängenbestimmung 0,15 Å.E. angegeben. Das erscheint uns beim Anblick der reproduzierten Spektrogramme reichlich viel.

Akademieberichte.

National Academy of Sciences, Washington.

15. Juli.

CORNELIA GOLAY BENEDICT, FRANCIS G. BENEDICT und EUGENE F. DU BOIS, *Human metabolism in an environment of heated air.* — HERBERT M. EVANS, *Invariable occurrence of male sterility with dietaries lacking fat soluble vitamine E.* — KARL E. MASON, *A histological study of sterility in the albino rat due to a dietary deficiency.* — WALTER S. ADAMS, *The relativity displacement of the spectral lines in the companion of Sirius.* — W. M. DAVIS, *The Basin range problem.* — JAMES KENDALL und BEVERLY L. CLARKE, *The separation of rare earths by the ionic migration method.* Die Versuchsanordnung zur Anwendung der Ionenwanderungsmethode auf die Trennung von Gemischen seltener Erden ist im einzelnen ausgearbeitet worden und mit ihr die Trennung von 3 Gemischen, (1) Yttrium-Erbium, (2) Neodym-Praseodym, (3) Gadolinium-Samarium versucht worden. In allen 3 Fällen wurde ein sehr hoher Trennungsgrad schnell erreicht, und die erhaltenen Resultate lassen keinen Zweifel, daß bei längerer Versuchsdauer die Methode in allen Fällen völlige Trennung ergeben wird, in denen die Ionenbeweglichkeiten der Komponenten deutlich verschieden sind. — R. H. FOWLER und E. A. MILNE, *A note on the principle of detailed balancing.* — W. H. RODEBUSH und E. F. FIOCK, *The measurement of the absolute charge on the Earth's surface.* — EDWARD W. BERRY, *Fossil plants from the tertiary of Patagonia and their significance.* — LAURENCE H. SNYDER, *Human blood groups and their bearing on racial relationships.* — CARL BARUS, *Inductance treated acoustically by differential telephones.* — ALBERT BJÖRKESON, *X-ray radiation from hot sparks.* — EDWIN H. HALL, *The four transverse effects and their relations in certain metals.* — GILBERT N. LEWIS, *The distribution of energy in thermal radiation and the law of entire equilibrium.* Das LEWISSche Gesetz vom vollständigen Gleichgewicht läßt die EINSTEINSche Ableitung der PLANCKschen Strahlungsgleichung als unzulässig erscheinen und führt unter allen Umständen auf das WIENSche Gesetz. Verfasser führt den „Aktionsradius" der Quanten ein (große Radien für kleine ν) und definiert eine „ideale Strahlung" analog dem idealen Gase. Für diese ideale Strahlung gilt das WIENSche Gesetz streng, so wie für das ideale Gas die MAXWELLsche Verteilung gilt. Je größer die Konzentration der Quanten und je kleiner die Frequenz, desto größere Abweichungen von dieser Grenzgleichung sind zu erwarten. So lassen sich die experimentell gefundenen Abweichungen vom WIENschen Gesetz mit wachsendem T/ν erklären. Sollten die Quanten gegenseitig ihre Geschwindigkeit beeinflussen, so gilt auch die Proportionalität zwischen Strahlungsdruck und Strahlungsdichte nicht mehr, und dann fällt nicht nur das STEFANSche und das WIENSche Verschiebungsgesetz, sondern auch jede Gleichung — wie die PLANCKsche — die diesen beiden entspricht. — LEONARD B. LOEB, *Ionic mobility in ether as a function of pressure.* Auch in Gasen, in denen die Ionenbeweglichkeit wegen ihrer hohen Dielektrizitätskonstante klein ist, ist die Beweglichkeit der Ionen verschiedenen Vorzeichens verschieden groß, wenn auch der Unterschied nicht so deutlich wie bei den permanenten Gasen ist. Gerade gebildete positive Ionen haben dagegen ungefähr dieselbe Beweglichkeit wie die negativen. — RICHARD C. TOLMAN, *The principle of microscopic reversibility.* — JOHN P. MINTON, *The dynamical function of the tympanic membrane and its associated ossicles.* — LINUS PAULING und ALBERT BJÖRKESON, *A new crystal for wave-length measurements of soft X-rays.* Es wurde gefunden, daß die 001 Ebene der hexagonal krystallisierenden β-Tonerde Al_2O_3 für die Untersuchung weicher Röntgenstrahlen besonders brauchbar ist, weil sie einen großen Ebenenabstand — 11,2 Å — mit sehr starkem Reflexionsvermögen verbindet.

15. August.

NELSON W. TAYLOR und GILBERT N. LEWIS, *The paramagnetism of „odd molecules".* Nach LEWIS zeigen Moleküle mit einer geraden Anzahl von Elektronen Diamagnetismus, während solche mit einer ungeraden Elektronenanzahl, sog. „ungerade Moleküle" Paramagnetismus zeigen sollen. Hier werden einige Belege für diese Theorie gebracht. Daneben wird die Frage erörtert, ob für alle diese ungeraden Moleküle die molare magnetische Suszeptibilität dieselbe ist. Nach den vorliegenden Ergebnissen läßt sich bisher nur sagen, daß es nicht unwahrscheinlich ist. — ALLAN C. G. MITCHELL, *The activation of hydrogen by excited mercury atoms.* — SELMAN A. WAKSMAN, *What is humus?* — SELMAN A. WAKSMAN, *The soil population.* — LUDVIG HEKTOEN und KAMIL SCHULHOF, *The precipitin reaction of thyroglobulin.* — J. B. COLLIP, *The internal secretion of the parathyroid glands.* — SAMUEL K. ALLISON und WILLIAM DUANE, *An experimental determination of the critical excitation frequency for the production of fluorescent X-radiation.* — WILLIAM DUANE, *The calculation of the X-ray diffracting power at points in a crystal.* Will man die Verteilung des Streuvermögens in einem Krystalle aus beobachteten Interferenzintensitäten auf dem analogen Wege berechnen, auf dem EPSTEIN und EHRENFEST die Intensität aus dem Streuvermögen berechnet haben, so muß man, um zu eindeutigen Resultaten zu gelangen, noch besondere zusätzliche Annahmen machen. Es liegt in diesem Falle nahe, zu fordern, daß die Verteilung des Streuvermögens der Krystallsymmetrie entsprechen soll. Meist genügt auch dies noch nicht und man muß gewisse weitere einfache Annahmen über die Verteilung machen. Jedenfalls macht man aber keine Annahmen darüber, daß der Krystall Atome oder Moleküle enthält. In den beiden folgenden Arbeiten von HAVIGHURST wird gezeigt, daß die auf dieser Grundlage durchgeführte Analyse zu dem Schlusse führt, daß das Streuvermögen sich um Punkte konzentriert, die den Atomlagen entsprechen, die durch andere Röntgenanalysen für den Krystall bestimmt worden sind. — R. J. HAVIGHURST, *The distribution of diffractive power in sodium chloride.* — R. J. HAVIGHURST, *The distribution of diffractive power in certain crystals.* — CARL BARUS, *The effect of commutation of impedances on the acoustic pressure produced by paired telephonic systems.* — R. T. COX und J. C. HUBBARD, *A statistical quantum theory of regular reflection and refraction.* — A. KEITH BREWER, *Ionization produced in gaseous reactions.* — G. F. ROUSE und G. W. GIDDINGS, *Ionization of mercury vapor by ultra-violet light.* — O. K. DE FOE und G. E. M. JAUNCEY, *Modified and unmodified scattering coefficients of X-rays in matter.* Die Existenz des Comptoneffektes bedingt die Notwendigkeit, für die Streuung von Röntgenstrahlen an Materie 2 Streukoeffizienten zu unterscheiden; einen für die veränderte Wellenlänge und einen für die unverändert gestreute Strahlung. Es werden 2 Methoden angegeben, um aus experimentellen Daten diese beiden Koeffizienten zu berechnen. — G. E. M. JAUNCEY und O. K. DE FOE, *The energy reappearing as characteristic X-rays when X-rays are absorbed in copper.* Dieselben Methoden wie oben können auch verwendet werden, um neben den beiden Streukoeffizienten den Fluorescenzkoeffizienten zu bestimmen. Es zeigt sich, daß weitaus der größte Teil der absorbierten Quanten zur Auslösung von Photoelektronen aus der K-Schale (effektive Wellenlänge der benutzten Strahlung ist 0,385 Å) benutzt wird.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.